

INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES MILITARES
CURSO DE PROMOÇÃO A OFICIAL SUPERIOR DA FORÇA AÉREA

2009/2010



TII

**O TEXTO CORRESPONDE A TRABALHO FEITO DURANTE A
FREQUÊNCIA DO CURSO NO IESM SENDO DA RESPONSABILIDADE
DO SEU AUTOR, NÃO CONSTITUINDO ASSIM DOUTRINA OFICIAL DA
FORÇA AÉREA PORTUGUESA.**

**INTEGRAÇÃO DE SENSORES PASSIVOS NOS
SISTEMAS DE DEFESA AÉREA NATO**

MIGUEL ALMEIDA FIGUEIREDO
CAP/ENGEL



INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES MILITARES

**INTEGRAÇÃO DE SENSORES PASSIVOS NOS
SISTEMAS DE DEFESA AÉREA NATO**

CAP/ENGEL Miguel Almeida Figueiredo

Trabalho de Investigação Individual do CPOSFA 09/10

Lisboa 2010



INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES MILITARES

**INTEGRAÇÃO DE SENSORES PASSIVOS NOS
SISTEMAS DE DEFESA AÉREA NATO**

CAP/ENGEL Miguel Almeida Figueiredo

Trabalho de Investigação Individual do CPOSFA 09/10

Orientador:

MAJ/PILAV João Conde

Lisboa 2010



Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível com a ajuda de várias pessoas, às quais não posso deixar de agradecer:

Em primeiro lugar ao Dr. Paul Howland, da NC3A, por ter despertado o meu interesse para este tema, pela bibliografia que produziu e pela permanente disponibilidade para responder às minhas questões.

Aos representantes nacionais do WG28 que responderam ao questionário colocado.

Ao Dr. Jean-Paul Bruyant, Mr. Torstein Bergli e Mr. Henrik Lisby pelos esclarecimentos prestados ao longo deste processo de investigação.

Ao TCor Seixas, TCor Duarte e Maj Ana Jorge que acederam a ser entrevistados e contribuíram para uma visão mais abrangente dos projectos de evolução do SICCAP.

Ao TCor Luís Pereira, pela documentação disponibilizada.

Ao meu Orientador, o Maj João Conde, pelas discussões e sugestões que me permitiram olhar para o tema de um modo um pouco menos técnico, talvez não o suficiente...

E por último, porque merecem um lugar de destaque: à minha esposa Sandra e à minha filha Rita, que viram a minha disponibilidade para as coisas importantes da vida diminuída, pelas horas de dedicação que este trabalho exigiu.



Índice

Agradecimentos	IV
Índice	V
Resumo	VIII
Abstract.....	IX
Palavras-chave	X
Lista de abreviaturas	XI
INTRODUÇÃO.....	14
1. CARACTERIZAÇÃO DOS SENSORES PASSIVOS	16
A. PASSIVE ESM TRACKER	16
(1) <i>Mais-valia operacional</i>	18
(2) <i>Disponibilidade comercial</i>	19
(3) <i>I&D</i>	20
B. “PASSIVE COHERENT LOCATOR”	21
(1) <i>Mais-valia operacional</i>	23
(2) <i>Disponibilidade comercial</i>	25
(3) <i>I&D</i>	26
C. VALIDAÇÃO DA HIPÓTESE H1	27
2. INTEGRAÇÃO DE SENSORES PASSIVOS NOS SDA NATO	28
A. INTEGRAÇÃO DE SENSORES PASSIVOS NO ACCS.....	28
B. INTEGRAÇÃO DE SENSORES PASSIVOS NOS SDA NACIONAIS	31
C. VALIDAÇÃO DA HIPÓTESE H2	33
3. INTEGRAÇÃO DE SENSORES PASSIVOS NO SICCAP	34
A. PROJECTOS DE EVOLUÇÃO DO SICCAP	34
(1) <i>Fase III do SICCAP – extensão ao Arquipélago da Madeira</i>	34
(2) <i>ARS Monsanto</i>	35
(3) <i>Fase IV do SICCAP – extensão ao Arquipélago dos Açores</i>	35
(4) <i>Substituição de radares do continente</i>	35
(5) <i>Aquisição de um Tactical Air Defense Radar (TADR)</i>	35
B. INTEGRAÇÃO DE SENSORES PASSIVOS	36
(1) <i>Integração no sistema actual</i>	36



(2) <i>Integração no âmbito dos Projectos de evolução</i>	36
(a) <i>Substituição de radares do continente</i>	37
(b) <i>Projecto de aquisição de um TADR</i>	37
C. VALIDAÇÃO DAS HIPÓTESES H3.1 E H3.2	38
CONCLUSÕES.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	43
GLOSSÁRIO.....	47
ANEXO A – CORPO DE CONCEITOS	A-1
ANEXO B – MODELO CONCEPTUAL.....	B-1
ANEXO C – SISTEMAS MSS	C-1
ANEXO D – EVOLUÇÃO PARA O ACCS	D-1
ANEXO E – SISTEMA ACTUAL SICCAP	E-1
ANEXO F – FINANCIAMENTO DOS PROJECTOS DE DEFESA AÉREA.....	F-1
ANEXO G – ENTREVISTAS EFECTUADAS	G-1
ANEXO H – QUESTIONÁRIO DE SENSORES PASSIVOS AO WG28.....	H-1
APENSO A – Princípios de funcionamento de um sensor PET (Clost et al, 2001)....	AP.A-1
APENSO B – Conceito de processamento coerente (radartutorial.eu, 2010)	AP.B-1
APENSO C – Arquitectura radar em função da forma de onda (Skolnik, 2001).....	AP.C-1
APENSO D – Função de ambiguidade radar (Papoutsis, et al, 2004).....	AP.D-1
APENSO E – Software MASE e ICC (ASC, 2010).....	AP.E-1

Lista de Figuras

Figura 1 - Sensor PET 3D, adaptado de (Clost <i>et al</i> , 2001).....	17
Figura 2 - Localização do <i>target</i> num sensor PET 3D, adaptado de (Moc, 2006).....	17
Figura 3 - Sinais EM presentes num sistema PCL, adaptado de (Shaw, 2009).....	21
Figura 4 - Geometria de um sensor PCL, adaptado de (Besouze, 2008).....	22
Figura 5 - RCS mono-estática de um B-26 (Skolnik, 2001).....	24
Figura 6 - Rede de sensores VERA-A e VERA-E (Chlost, 2001).....	32



Figura 7 - Precisão MSS-WAM vs SSR Monopulso (EUROCONTROL, 2007).....	C-1
Figura 8 - Estratégia SESAR da EUROCONTROL (ERA, 2009b).....	C-2
Figura.9 - Migração para o ACCS (NACMA, 2010).....	D-1
Figura 10 - Esquema funcional do SICCAP Fase II (IFB Fase III, 2002).....	E-2

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Caracterização do sensor VERA-E (ERA, 2003).....	19
Tabela 2- Características dos sinais EM dos TX de oportunidade (Besouzec, 2008).....	22
Tabela 3 – Lockheed Martin – Silent Sentry (Lockheed Martin, 2007).....	25
Tabela 4 - Thales – Homeland Alerter 100 (HA100) (WG28, 2010).....	26
Tabela 5 - Selex Sistemi Integrati – Aulos (Selex, 2009).....	26
Tabela 6 - Requisitos de sensores DSE (MC, 2007).....	30
Tabela 7 - Custos estimados dos sensores DSE (MC, 2007).....	30
Tabela B-1 – Modelo conceptual elaborado para esta investigação.....	B-1
Tabela G-1 – Lista de entrevistas efectuadas.....	G-1



Resumo

Reconhecidas as fragilidades dos sensores radar mono-estáticos, no que diz respeito à cobertura adequada de *Air Breathing Targets* (ABT) com baixa *Radar Cross Section* (RCS), e a sua vulnerabilidade a ataques *High Speed Radiation Missiles* (HARM), a NATO considerou como relevantes para o futuro da vigilância aérea, os sensores passivos *Passive Electronic Support Measures* (ESM) *Tracking* (PET) e *Passive Coherent Locator* (PCL). Pretende-se com este trabalho investigar o que são os sensores passivos, quais são as suas potencialidades operacionais, em que medida e com que finalidade é que estão a ser integrados nos SDA NATO, a fim de posteriormente avaliar a possibilidade da sua integração no SICCAP.

Caracterizam-se os sensores passivos PET e PCL e identificam-se as mais-valias operacionais deste tipo de sensores, bem como a sua disponibilidade comercial e actividades de investigação e desenvolvimento em curso. Segue-se a descrição do estado de integração destes sensores no *Air Command and Control System* (ACCS) e nos SDA nacionais da NATO. Identificam-se de seguida os projectos de evolução do SICCAP, e particularizam-se aqueles que poderão comportar a integração de sensores passivos no seu âmbito. Por fim, faz-se uma análise da viabilidade técnica e financeira da integração de sensores passivos no SICCAP.

A integração de sensores passivos no SICCAP é modelada para permitir a identificação dos projectos de evolução, que comportam a integração de sensores passivos no seu âmbito. São enunciadas hipóteses sobre as questões que concorrem para essa identificação. As hipóteses são depois sujeitas ao teste dos dados, recolhidos através de pesquisa bibliográfica e entrevistas.

Identifica-se a complementaridade dos sensores PET e PCL aos radares, bem como as fragilidades de cada um dos sensores. Identificam-se as finalidades para que são usados os sensores passivos no ACCS e nos SDA nacionais. Identificam-se os projectos de evolução do SICCAP em que é tecnicamente viável a integração de sensores passivos. É reconhecida a inviabilidade financeira de comportar esta integração, com os níveis de financiamento actual. Conclui-se que a integração de sensores passivos no SICCAP é viável, após a implementação do ARS Monsanto, mediante um alargamento do âmbito e um reforço do financiamento dos projectos de evolução validados tecnicamente.

Apresentam-se no final algumas recomendações para dar utilidade às conclusões deste trabalho de investigação.



Abstract

Recognized the weaknesses of the mono-static radar sensors, with regard to adequate coverage of Air Breathing Targets (ABT) with low Radar Cross Section (RCS), and its vulnerability to High Speed Radiation Missiles (HARM) attacks, NATO considered as relevant to aerial surveillance's future, Passive Electronic Support Measures (ESM) Tracking (PET) and Passive Coherent Locator (PCL) passive sensors. The aim of this work was to investigate what are these passive sensors, which is their operational potential, to what extent and for what purpose are they being integrated into NATO SDA in order to further evaluate the possibility of their integration within SICCAP.

PET and PCL passive sensors are characterized, and their operational gains are identified, as well as their commercial availability and research and development in progress. Following, the integration state of these sensors at the Air Command and Control System (ACCS) and SDA national NATO is described. Following, SICCAP development projects are identified, and those that may support the integration of passive sensors in its scope are particularized. Finally, a technical and financial feasibility analysis, of the passive sensors integration in SICCAP is done.

The integration of passive sensors in SICCAP is modeled in order to allow the identification of the development projects, that support the integration of passive sensors in its scope. Hypotheses are stated on the issues that contribute to such identification. Test data, collected through a literature search and interviews, is used to validate the stated hypotheses.

We identify that PET and PCL sensors complement radar, and weaknesses of each of the sensors are stated. The purposes for which passive sensors are used in the ACCS and national SDA are identified. SICCAP developments projects, in which is technically feasible to integrate passive sensors, are also identified. It is recognized that the financial viability of this integration, with current funding levels, is compromised. It is concluded that the passive sensors integration in SICCAP is feasible, after the implementation of ARS Monsanto, through a scope widening and financing increase of development projects technically validated.

The document ends with the presentation of some recommendations towards the practical application of its conclusions.



Palavras-chave

Integração, sensores passivos, PET, PCL, ACCS, SICCAP, projectos de evolução, viabilidade técnica, viabilidade financeira.



Lista de Abreviaturas

2D	<i>2-Dimensional</i>
3D	<i>3-Dimensional</i>
ABT	<i>Air-Breathing Targets</i>
ACCS	<i>Air Command and Control System</i>
AMSL	<i>Above Mean Sea Level</i>
ARS	<i>Air Control Center (ACC), RAP Production Center (RPC) Sensor Fusion Post (SFP)</i>
ASTERIX	<i>All purpose Structured EUROCONTROL Radar Information eXchange</i>
ATC	<i>Air Traffic Control</i>
AWCIES	<i>ACCS Wide Common Information Exchange Standards</i>
BVC	<i>Basic Volumetric Coverage</i>
CEMFA	<i>Chefe de Estado Maior da Força Aérea</i>
CM	<i>Cruise Missile</i>
CPS	<i>Central Processing Station</i>
DAB	<i>Digital Audio Broadcast</i>
DAC	<i>Deployable ACCS Component</i>
DADR	<i>Deployable Air Defense Radars</i>
DARS	<i>Deployable ARS</i>
DME	<i>Distance Measuring Equipment</i>
DPCL	<i>Deployable PCL</i>
DPET	<i>Deployable PET</i>
DSE	<i>Deployable Sensor Element</i>
DVB	<i>Digital Video Broadcast</i>
EM	<i>Electro-Magnético</i>
EMFA/DIVCSI	<i>Divisão de Comunicações e Sistemas de Informação do Estado Maior da Força Aérea</i>
ESM	<i>Electronic Support Measures</i>
EVC	<i>Enhanced Volumetric Coverage</i>
FA	<i>Final Acceptance</i>
FM	<i>Frequência Modulada</i>
FST	<i>Factory System Test</i>
G/A/G	<i>Ground/Air/Ground</i>



G/G	<i>Ground/Ground</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HARM	<i>High-speed Anti-Radiation Missile</i>
IFF	<i>Identification Friend or Foe</i>
I&D	Investigação e Desenvolvimento
IP	<i>Internet Protocol</i>
LPM	Lei de Projectação Militar
MC	<i>North Atlantic Military Committee</i>
MSS	<i>Multi-Lateration Surveillance Systems</i>
NATO	<i>North Atlantic Treaty Organization</i>
NC3A	<i>NATO Consultation, Command and Control Agency</i>
NAEW&C	<i>NATO's Airborne Early Warning & Control</i>
NPC	<i>NATO Programming Center</i>
PCL	<i>Passive Coherent Locator</i>
PET	<i>Passive ESM Tracking</i>
PSA	<i>Provisional System Acceptance</i>
PSR	<i>Primary Surveillance Radar</i>
RAP	<i>Recognized Air Picture</i>
RCS	<i>Radar Cross Section</i>
RSRP	<i>Radars for Southern Region and Portugal</i>
RX	Receptor
SAT	<i>Site Acceptance Tests</i>
SDA	Sistema de Defesa Aérea
SHAPE	<i>Supreme Headquarters Allied Powers Europe</i>
SICCAP	Sistema de Comando e Controlo Aéreo de Portugal
SSR	<i>Secondary Surveillance Radar</i>
TACAN	<i>TACTical Air Navigation</i>
TADR	<i>Tactical Air Defense Radar</i>
TBCE	<i>Type B cost Estimate</i>
TBM	<i>Tactical Ballistic Missile</i>
TDOA	<i>Time Difference Of Arrival</i>
TV	Televisão
TX	Transmissor



UAV

Unmanned Air Vehicle



Introdução

Os conflitos militares recentes mostraram que os radares*¹ mono-estáticos* convencionais são facilmente localizados² e por este motivo estão expostos ao *jamming** e ao uso potencial de *High-speed Anti-Radiation Missiles* (HARM) (US Navy, 1997). Por outro lado, é também reconhecido que os radares mono-estáticos convencionais são incapazes de fornecer uma cobertura adequada dos *Air-Breathing Targets** (ABT) com baixa *Radar Cross Section** (RCS), em que se incluem as aeronaves *sthealth**, os *Unmanned Air Vehicles* (UAV)s e os *Cruise Missile* (CM), e por esse motivo é necessário reconsiderar a mistura de sensores que é adequada a manter a capacidade de vigilância aérea na *North Atlantic Treaty Organization* (NATO) (Howland, 1999). Os sensores passivos foram uma das alternativas consideradas para esta tarefa, e apesar de não terem sido eleitos como a melhor alternativa em termos de performance, o seu reduzido custo, comparado com as outras soluções estudadas, justificaram um continuado interesse da NATO neste tipo de sensores.

Assim, no ano 2000 a *NATO Consultation, Command and Control Agency* (NC3A) realizou um outro estudo, desta vez destinado a determinar quais são os contributos que os diferentes tipos de sensores passivos podem ter para a *Recognized Air Picture** (RAP) (Howland, 2001). Desde então, a referência aos sensores passivos foi incorporada no documento do *North Atlantic Military Committee* (MC) MC 507, *Concept for Air Surveillance*, documento onde é referido que “*there are two passive sensor technologies of relevance to SHAPE’s future air surveillance policy*” e que são os sensores *Passive Electronic Support Measures* (ESM) *Tracking* (PET)³ e *Passive Coherent Locator* (PCL)⁴.

O presente trabalho procura saber o que são os sensores passivos, quais são as suas potencialidades, em que medida e com que finalidade é que estão a ser integrados nos Sistemas de Defesa Aérea (SDA) NATO⁵ a fim de posteriormente avaliar a possibilidade da sua integração no Sistema de Comando e Controlo Aéreo de Portugal (SICCAP)⁶.

¹ Ao longo deste trabalho todos os termos assinalados com * são explicados no Glossário

² Através de análise espectral omnidirecional

³ Ver Anexo A – Corpo de conceitos

⁴ Idem

⁵ Idem

⁶ Idem



Assim, seguindo a proposta metodológica de Quivy et al. (2005), esta investigação é orientada pela seguinte pergunta de partida:

De que forma se poderão integrar os sensores passivos no SICCAP, considerando a sua realidade actual e as perspectivas de evolução futura?

Na busca da resposta à questão central, decorrem três perguntas derivadas:

- **Quais são as razões que justificam a integração de sensores passivos num SDA?**
- **De que forma é que os sensores passivos foram integrados nos SDA NATO?**
- **Qual é a viabilidade de integrar sensores passivos no SICCAP no âmbito dos projectos de evolução previstos?**

Com base na problemática e nas perguntas derivadas estabelecidas, constrói-se um modelo de análise, que é composto por conceitos e hipóteses estreitamente articulados entre si, a saber:

- **H1:** Os sensores passivos disponíveis comercialmente complementam as lacunas dos radares activos, contribuem para a melhoria do volume de cobertura e para o aumento da capacidade de sobrevivência do SDA.
- **H2:** Os sensores passivos integrados nos SDA NATO são utilizados como uma capacidade *deployable** que visa essencialmente colmatar os *gaps* de cobertura* dos radares activos.
- **H3.1:** A integração de sensores passivos no âmbito dos projectos de evolução do SICCAP é tecnicamente viável.
- **H3.2:** A integração de sensores passivos no âmbito dos projectos de evolução previstos do SICCAP, é financeiramente inoportável para os níveis de financiamento existentes na Lei de Programação Militar (LPM).

As hipóteses são testadas através da análise dos dados recolhidos por consulta bibliográfica e por entrevistas dirigidas a peritos que pelas suas funções, actuais ou passadas, têm conhecimento do tema objecto de estudo.

Ao longo deste estudo são trabalhados alguns conceitos que se encontram definidos nos Anexos A e B.

No que diz respeito à estrutura do trabalho, no primeiro capítulo apresenta-se uma caracterização dos sensores passivos PET e PCL, e identificam-se as mais valias operacionais, disponibilidade comercial, e actividades de investigação e desenvolvimento



em curso para cada um dos tipos de sensores. No final, atendendo aos resultados observados, faz-se a validação da hipótese H1.

No segundo capítulo procura-se caracterizar a integração dos sensores no âmbito do projecto *Air Command and Control System*⁷ (ACCS) e nos SDA nacionais. Para cada caso, são identificadas as finalidades que os sensores passivos cumprem e o estado de integração. No final, face aos resultados observados, é validada a hipótese H2.

No terceiro capítulo deste estudo procuram-se identificar os projectos de evolução do SICCAP e analisar, em termos de viabilidade financeira e técnica, a possível integração de sensores passivos no SICCAP. No final deste capítulo são validadas as hipóteses H3.1 e H3.2 tendo por base os resultados observados.

Por fim, são apresentadas as conclusões onde se incluem também os contributos para o conhecimento trazidos por este trabalho e ainda algumas recomendações para uma eventual integração de sensores passivos no SICCAP.

1. Caracterização dos sensores passivos

Neste capítulo apresenta-se, com base em pesquisa bibliográfica, a caracterização destes dois tipos de sensores analisando quais são as mais-valias operacionais que advêm da sua integração num qualquer SDA, a sua disponibilidade comercial e ainda a Investigação e Desenvolvimento (I&D) em curso nesta área.

a. Passive ESM Tracker

Os sensores PET são baseados em dois ou mais receptores ESM interligados que funcionam cooperativamente* de modo a estimarem o *range** e o *bearing** e a altitude de um emissor Electro-Magnético* (EM), para além da informação sobre o emissor em si (Howland, 2001).

Um sensor PET *2-Dimensional* (2D) estima o *range* e o *bearing*, e é composto por três receptores ESM, L, C e R, e uma “*Central Processing Station*” (CPS), colocalizada com o receptor C. Um sensor PET *3-Dimensional* (3D) tem um receptor ESM adicional, Q, e para além do *range* e do *bearing* estima também a altitude do emissor EM.

⁷ Ver Anexo D

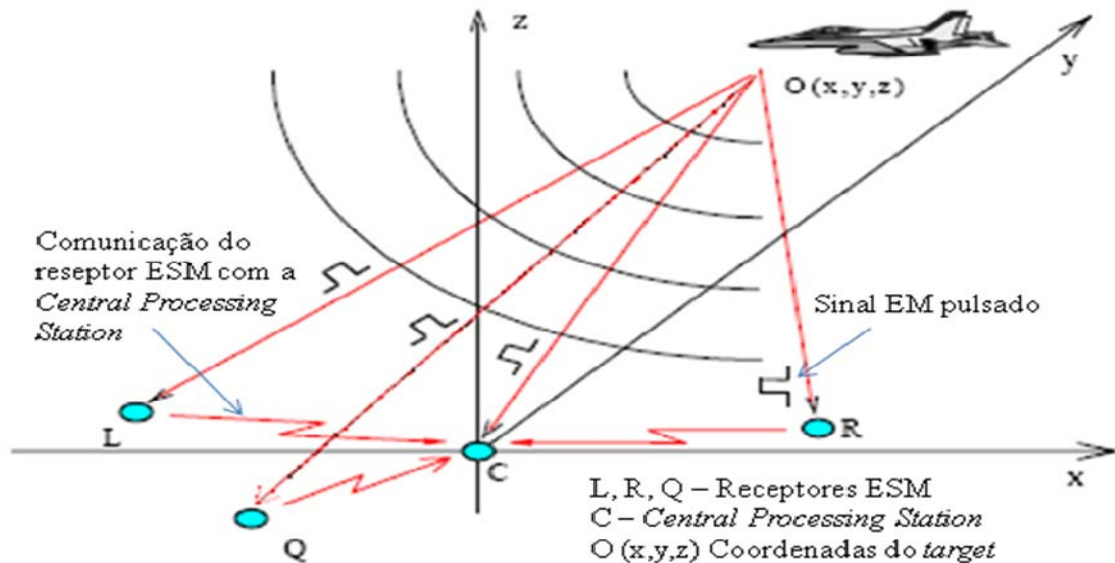


Figura 6 - Sensor PET 3D, adaptado de (Clost et al, 2001)

Os sinais EM recebidos nos receptores ESM são transmitidos em tempo real para a CPS, normalmente por *links* de micro-ondas*. Na CPS os sinais são processados simultaneamente, correlacionados, e as suas *Time Difference Of Arrivals* (TDOAs) são determinadas. A localização instantânea do alvo é determinada como a intercepção de duas (2D) ou três hipérboles (3D), cujos focos são as localizações dos receptores, determinadas pelos respectivos TDOA.⁸

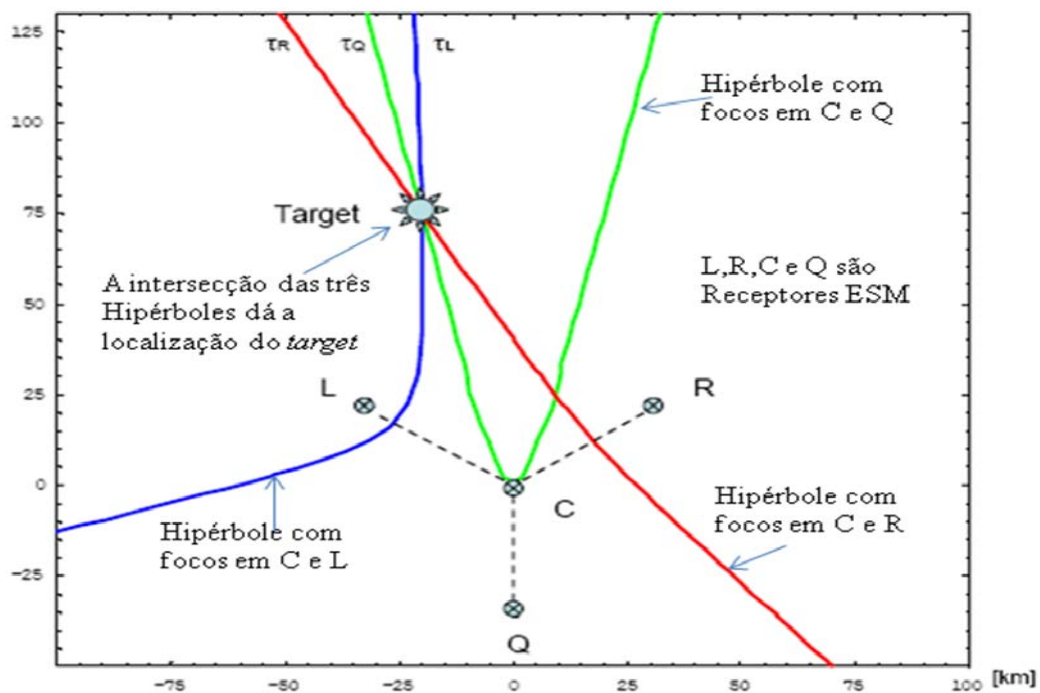


Figura 7 - Localização do target num sensor PET 3D, adaptado de (Moc, 2006)

⁸ Ver Apenso A para mais esclarecimentos.



Os sinais EM mais utilizados para este efeito são os provenientes do *transponder** *Identification Friend or Foe/ Secondary Surveillance Radar* (IFF/SSR), mas podem também ser utilizados sinais radar, sinais de *jamming*, *datalinks**, *broadcasts** de navegação *TACtical Air Navigation/ Distance Measuring Equipment* (TACAN/DME) e *broadcasts* de comunicações.

A tecnologia TDOA é hoje em dia amplamente utilizada em sistemas *Multi-Lateration Surveillance Systems* (MSS) no meio da vigilância *Air Traffic Control* (ATC) civil, utilizando apenas os sinais SSR. A precisão e o *range* deste tipo de sensores (PET e MSS) são semelhantes às proporcionadas pelos SSR⁹.

(1) Mais-valia operacional

Os sensores PET, para além da capacidade de operar de forma camuflada e da imunidade a ataques HARM, que é comum aos sensores PCL, oferecem um número significativo de mais-valias operacionais que os radares convencionais não conseguem fornecer.

Em primeiro lugar, os sensores PET incorporam uma base de dados de emissores que identifica automaticamente o tipo de emissor para cada *plot**, pelo que podem ser considerados como uma fonte de identificação cooperativa e não-cooperativa*.

Em segundo, mesmo que o emissor não conste da base de dados, as características do *plot* são únicas pelo que não existe o problema da associação *plot-to-track** que existe nos radares convencionais. Como resultado, as manobras, cruzamento de *tracks** e detecções falhadas* não causam qualquer problema a estes sensores.

Em terceiro, e uma vez que estes sensores são fixos e não estão dependentes da rotação de nenhuma antena, eles são capazes de fornecer taxas de refrescamento* elevadas, muito inferiores aos 10 a 12s dos radares convencionais. Esta capacidade é muito importante quando o alvo efectua manobras extremas que nos radares convencionais originam a perda do *track*.

No entanto, a principal desvantagem dos sensores PET reside no facto de estes dependerem dos sinais EM emitidos pelo *target*. Em tempo de paz este facto não apresenta qualquer problema, mas em tempo de tensão ou guerra as aeronaves militares tenderão a operar em silêncio rádio dentro do espaço aéreo controlado pelos adversários, o que limita estes sistemas à exploração de emissões ocasionais (Howland, 2001).

⁹ Ver Anexo C



(2) Disponibilidade comercial

Existem pelo menos três firmas a nível mundial que disponibilizam este tipo de sensores: A ERA Systems Corporation, a Elettronica S.p.A e a IAI Elta Systems Ltd.

A comparação de cada uma das soluções comercializadas por estes fabricantes, no que diz respeito a funcionalidades, tipos de sinais processados, características técnicas e *output*, é de difícil concretização, uma vez que este tipo de informação é omitido nos *datasheets* comerciais publicamente disponíveis. Para efectuar uma análise desta natureza seria necessária a existência de um manifesto interesse no âmbito de um processo de aquisição de sensores. Por este motivo, caracterizar-se apenas aquela para a qual existe mais informação disponível – a solução VERA-E da firma ERA.

A firma ERA tem actualmente dois sensores PET comercialmente disponíveis: o VERA-NG e o VERA-E. O VERA-NG é a evolução do sensor VERA-E actualmente instalado no Canadá, República Checa, Estónia, Letónia, República Eslovaca e Estados Unidos (ERA, 2009a), que de seguida se caracteriza.

Tabela 1 - Caracterização do sensor VERA-E (ERA, 2003)

Funcionalidades	Sinais processados	Características técnicas	Output
<ul style="list-style-type: none">• Detecção, <i>Tracking</i>, e Identificação de targets aéreos, navais e terrestres;• Análise de sinais EM;• Análise do espectro de frequências.	<ul style="list-style-type: none">• Radar;• <i>Jammers</i>;• SSR/IFF;• TACAN/DM E;• <i>Datalinks</i>;• Outros sinais EM pulsados.	<ul style="list-style-type: none">• Frequência: 1 a 18 GHz;• <i>Range</i>: até 450 Km;• Azimute: até 120°;• Precisão: 0,01xD² (100 m a 100 km e 900m a 300 km)• Peso: até 300 Kg;• Consumo por receptor ESM: 24 V DC/250 W;• 3D: 4 receptores ESM com linha de vista para a CPS.	<ul style="list-style-type: none">• Protocolo ASTERIX¹⁰;• Identificação do target;• Coordenadas x, y e z;• Parâmetros dos sinais recebidos;• Modos 3/A, C, 1 e 2 do SSR/IFF;• Altitude do Modo C;• Altitude e endereço do Modo S;• Update ajustável entre 1 a 5 s.

¹⁰ All purpose Structured EUROCONTROL Radar Information eXchange



Quanto à firma Elettronica, ela dispõe também de dois sensores: o sensor ELT 243 – sensor *Deployable* PET (DPET) proposto para a *Capability Package** 9A0202 (CP 9A0202) do ACCS (*Working Group 28* (WG28), 2009); e o ER-90 – sensor PET utilizado para a *Factory System Test* (FST) do ACCS (Lisby, 2009).

Por último, a firma IAI que comercializa o sensor EL/L-8388 (IAI, 2007).

Embora, por falta de dados, não seja possível comparar os sensores entre si, é razoável admitir que o sensor VERA-E constitui o “padrão mínimo” para este tipo de sensores. Considera-se assim, que as funcionalidades que este sensor proporciona constituem um complemento valioso para os SDA NATO.

(3) I&D

A tecnologia TDOA foi “exportada” para o meio civil, onde é hoje em dia amplamente utilizada em sistemas MSS. Este facto constitui um reconhecimento pelo mercado de um produto fiável, e barato, capaz de desempenhar de igual forma, ou melhor, a funcionalidade de identificação cooperativa e localização aérea. Assim, enquanto o mercado da concorrência civil impõe o melhoramento dos sistemas MSS, os sensores PET beneficiam também desta pressão e acabam também por incorporar algumas dessas novidades. O sensor VERA-NG, da ERA, é um exemplo disso. Sendo uma evolução do sensor VERA-E, ele incorpora alguns melhoramentos já em utilização nos sistemas MSS, nomeadamente: a interligação entre os receptores ESM e a CPS que é agora feita por *Internet Protocol* (IP); a existência em cada receptor da sua própria referência temporal¹¹, obtida por *Global Positioning System* (GPS); e a possibilidade de qualquer um dos receptores poder assumir agora as funções de CPS¹² (ERA, 2009,2). Para além destes melhoramentos “herdados” do mundo civil, o VERA-NG tornou-se mais fácil de transportar¹³, instalar e configurar¹⁴ o que aumentou a sua capacidade *deployable*, tão cara aos militares.

¹¹ Que permite identificar em cada receptor o tempo exacto em que o sinal emitido pelo *target* foi recebido.

¹² No VERA-E a CPS era um ponto único de falha pois a sua inoperatividade comprometia todo o sistema.

¹³ Receptores ESM de 70kg vs 300Kg do VERA-E.

¹⁴ As versões anteriores tinham obrigatoriamente que ser instaladas numa configuração de “*hub*” ou estrela exigindo a existência de linha de vista entre os receptores ESM (L, R e Q) e a CPS. O uso do protocolo IP e do GPS como referência temporal eliminou essa obrigatoriedade.

b. “Passive Coherent Locator”

Os sensores PCL são uma classe de sensores passivos que usam técnicas de processamento coerentes¹⁵ a fim de explorar Transmissores (TX)s de oportunidade¹⁶ para detectar e fazer o *tracking** dos objectos aéreos e terrestres presentes no ambiente circundante. A utilização de TXs de oportunidade significa que o Receptor (RX) tem que processar sinais EM que não foram desenhados para fins radar. Como consequência, as arquitecturas tradicionais de processamento radar não são apropriadas¹⁷, pelo que estes sistemas exigem um processamento de sinais intensivo, e o uso de algoritmos de estimação complexos a fim de determinarem a localização, *heading* e velocidade dos *targets* (Howland, 2001).

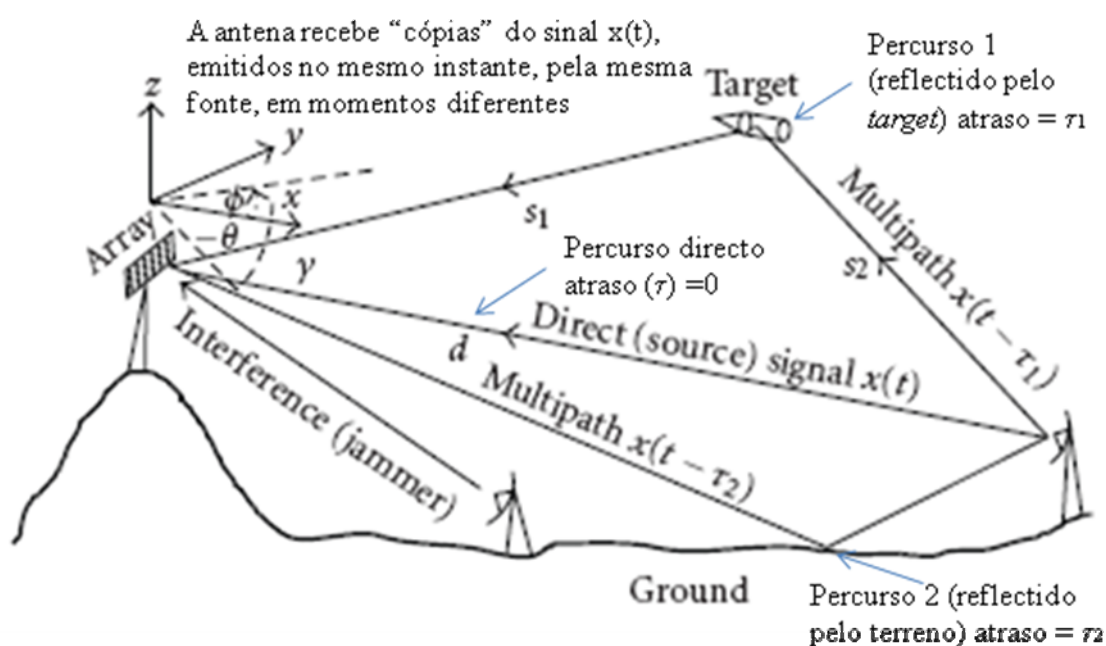


Figura 8 - Sinais EM presentes num sistema PCL, adaptado de (Shaw, 2009)

De um modo geral os sistemas PCL são compostos por um receptor multi-canal e várias antenas e são capazes de medir o *range* bi-estático*, *bearing* e desvio Doppler do *target*. A medida de *range* bi-estático, obtida através da correlação cruzada dos sinais EM recebidos, com um sinal de referência, obtido através do percurso directo, coloca o *target* sobre uma elipse de localizações equiprováveis sendo necessária a medida de *bearing* (θ_r) para estimar a sua localização.

¹⁵ Ver Apenso B.

¹⁶ Tais como emissores de TeleVisão (TV) e Rádio Frequência Modulada (FM).

¹⁷ Ver Apenso C.

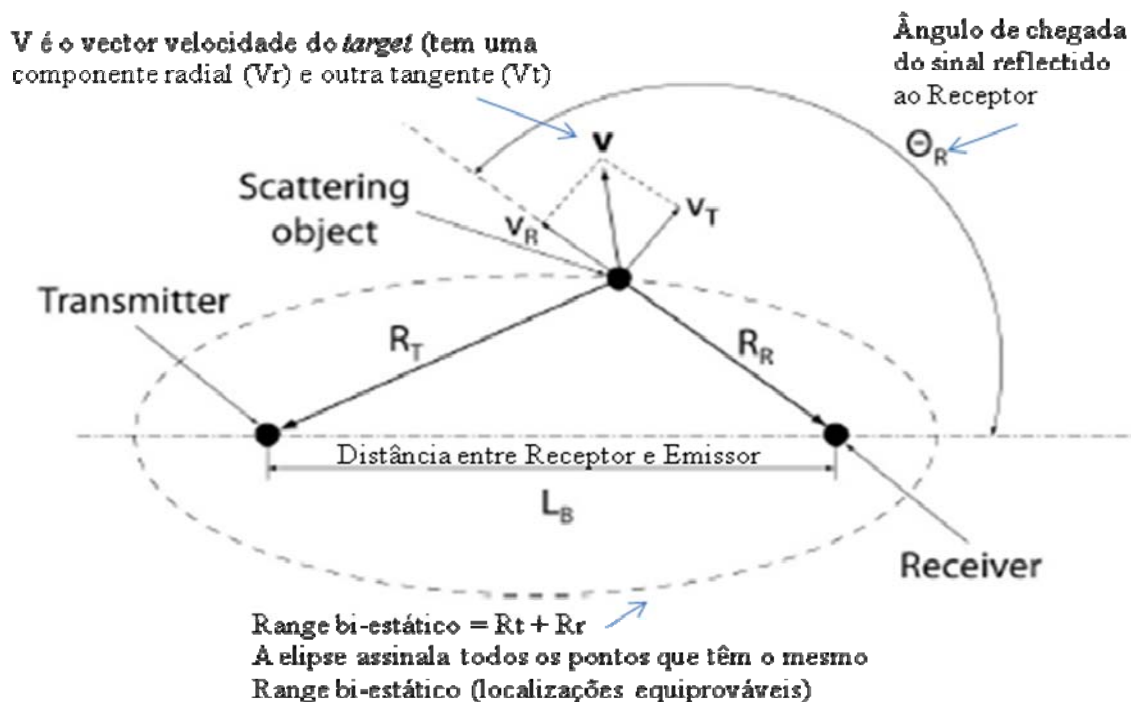


Figura 9 - Geometria de um sensor PCL, adaptado de (Besouzec, 2008)

Devido ao facto de o sinal EM do TX de oportunidade ter uma função de ambiguidade radar¹⁸ pobre, e de as medidas de *bearing* serem pouco precisas (aproximadamente 10x piores que um radar mono-estático), as medidas de *range* bi-estático obtidas são de fraca resolução.

Tabela 2- Características dos sinais EM dos TX de oportunidade (Besouzec, 2008)

Transmitter	Typ. ERP [kW]	Level [dBm/m ²]	Range resolution [km]	Peak sidelobe level	
				Range [dB]	Doppler [dB]
FM analogue radio	50		1.8 – 16.5*	-12.0 -27.0*	-26 –46.5
Analogue TV	100		9.6** – 15.6	-0.2	-9.1
DAB	10		1.5	-11.7	-38.0
DTV	10		0.044 ¹	-18.5	-34.6
GPS		-135	0.030 ²		
GSM 900 MHz		- 80***	1.8	-9.3	-46.7

*Depende do programa transmitido (música, notícias, etc)

** Usando apenas a sub-portadora da Crominância

*** Medido a 10 Km da estação de base

¹⁸ Ver Apenso D.



No entanto, se o sistema PCL explorar dois ou mais TXs de oportunidade a precisão pode melhorar significativamente. Cada TX proporciona medidas adicionais de *range*, *bearing* e desvio Doppler com erros não correlacionados, para além de tornar o sistema mais robusto. O problema mais significativo que resulta da exploração de vários TXs em simultâneo advém da dificuldade de associação dos *plots* aos *targets*, uma vez que as medidas de *range* e desvio Doppler serão completamente distintas para cada par TX-RX¹⁹ (Howland, 2006).

Apesar dos muitos trabalhos de investigação efectuados na última década, a tecnologia PCL ainda não está completamente estável. São muitas as aproximações à forma como implementar um sistema e nenhuma delas pode ser considerada a “ideal”. No entanto, alguns dos algoritmos chave foram já identificados e o poder computacional que os equipamentos de processamento digital modernos apresentam permite já a sua implementação em tempo real.

(1) Mais-valia operacional

Ao contrário dos sistemas PET, que dependem da energia EM emitida pelo *target*, os sistemas PCL são capazes de detectar e fazer o *tracking* de *targets* que não emitam qualquer tipo de energia EM. Os sensores PCL, para além da capacidade de operar de forma camuflada e da imunidade a ataques HARM, que é comum aos sensores PET, oferecem um número significativo de mais-valias operacionais que os radares convencionais não conseguem fornecer.

Ao explorar bandas de frequência que não estão tradicionalmente alocadas ao serviço radar (Radio FM 88-108MHz, e TV 50-72, 76-88, 174-216 e 470-806MHz) os sistemas PCL garantem à partida as seguintes vantagens:

- Maior diversidade de frequência (considerando o uso simultâneo das bandas radar tradicionais L 1215-1400MHz e S 2700-3500MHz) que dificulta a tarefa do *jamming* por parte dos oponentes;
- De um modo geral, oferecem melhores características RCS dos *targets* pequenos tais como UAVs, CMs, *Tactical Ballistic Missiles* (TBM) e redução da efectividade da tecnologia *stealth* (desenvolvida para as bandas radar tradicionais);

¹⁹ O que pode originar informação sobre dois *targets* quando é apenas um.

- Menor degradação de *range* na presença de chuva²⁰ e *chaff*²¹.

Outra vantagem dos sistemas PCL é a sua geometria multi-estática. Apesar de, em geral, o RCS bi-estático de um *target* não ser maior que o RCS mono-estático, o uso de uma geometria multi-estática (vários TXs de oportunidade) implica uma eliminação da maior parte dos “zeros” do diagrama RCS²².

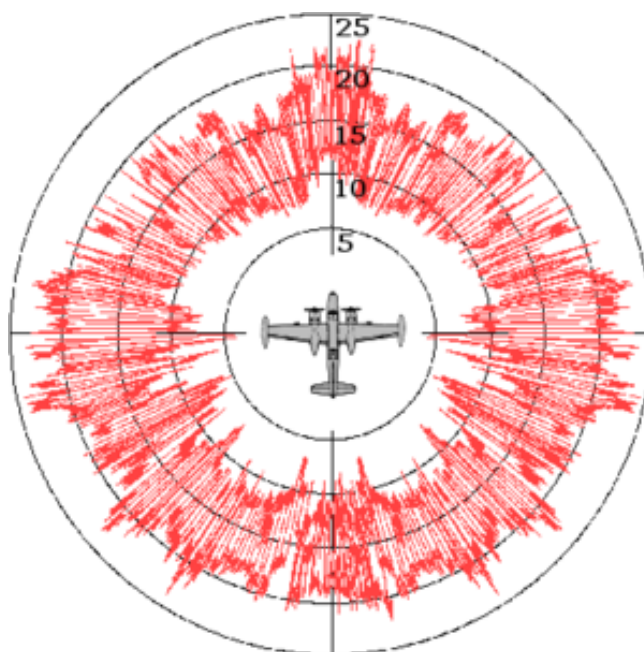


Figura 10 - RCS mono-estática de um B-26 (Skolnik, 2001)

Finalmente, e tal como os sensores PET, os sensores PCL usam antenas fixas, e desta forma são capazes de fornecer taxas de refrescamento elevadas, muito inferiores aos 10 a 12s dos radares convencionais impostas pelo efeito de rotação da antena destes sistemas.

No entanto apesar das vantagens atrás enunciadas existe um determinado número de limitações que dificultam o uso operacional destes sistemas:

- A sua precisão é aproximadamente dez vezes pior que a dos radares convencionais;
- Cobertura mais limitada, em range e azimuth, do que a dos radares convencionais;

²⁰ Nestas frequências a atenuação devida à chuva é menor.

²¹ As dimensões e efectividade do *chaff* estão directamente ligadas à frequência.

²² Cada par TX-RX origina um diagrama RCS. Quanto mais pares TX-RX menor a probabilidade de um determinado *target* ter um RCS “zero”.



- Dependência da existência de TXs de oportunidade adequados (embora seja relativamente simples e barato instalar TXs dedicados);
- A maturidade tecnológica destes sistemas ainda é reduzida.

Acresce ainda o facto de todos estes aspectos terem já sido enunciados por Howland, em 2001, e permanecerem válidos à presente data.

(2)Disponibilidade comercial

Como foi atrás referido, a disponibilidade comercial dos sensores PCL é limitada, existindo apenas três sistemas no mercado, cujas características a seguir se apresentam em forma de tabelas:

Tabela 3 – Lockheed Martin – Silent Sentry (Lockheed Martin, 2007)

Funcionalidades	Sinais processados	Características técnicas	Output
<ul style="list-style-type: none">• Detecção e <i>Tracking</i> de <i>targets</i> aéreos, navais e terrestres.	<ul style="list-style-type: none">• Rádio FM;• TV analógica;• TV digital (HDTV).• Explora múltiplos TX (multi-estático).	<ul style="list-style-type: none">• <i>Range</i>: até 150 NM (277,8 Km);• Azimute: até 360°;• Elevação: 60°;• Precisão (FM): horizontal 250 m, vertical 1000 m, velocidade < 2m/s• Consumo: 120 V DC/1,5 kw;• Plataforma fixa ou móvel.• VME <i>rack</i>	<ul style="list-style-type: none">• Protocolo proprietário;• Coordenadas x, y e z;• Update rate: N/A.



Tabela 4 - Thales – Homeland Alerter 100 (HA100) (WG28, 2010)

Funcionalidades	Sinais processados	Características técnicas	Output
<ul style="list-style-type: none">• Detecção e <i>Tracking</i> de <i>targets</i> aéreos, navais e terrestres.	<ul style="list-style-type: none">• Rádio FM;• TV analógica;• Explora múltiplos TX (multi-estático).	<ul style="list-style-type: none">• <i>Range</i>: até 100 Km;• Azimute: até 360°;• Elevação: 90°;• Precisão (FM): 2D “satisfatória”, 3D “insuficiente”.	<ul style="list-style-type: none">• Protocolo ASTERIX;• Coordenadas x, y e z;• Update rate: 1,5 s.

Tabela 5 - Selex Sistemi Integrati – Aulos (Selex, 2009)

Funcionalidades	Sinais processados	Características técnicas	Output
<ul style="list-style-type: none">• Detecção e <i>Tracking</i> de <i>targets</i> aéreos, navais e terrestres.	<ul style="list-style-type: none">• Rádio FM;• Explora múltiplos TX (multi-estático).	<ul style="list-style-type: none">• <i>Range</i>: N/A;• Azimute: até 360°;• Elevação: 60°;• Precisão (FM): N/A.	<ul style="list-style-type: none">• Protocolo: N/A;• Coordenadas x, y e z;• Update rate: 3 s

O sensor mais “completo”, e com melhores características, é o Silent Sentry. Tem um maior range e explora um maior número de TX. No entanto, tal como os restantes, é um sensor 2D²³, e possui um protocolo de interface proprietário, o que constitui uma desvantagem face ao HA100 da Thales²⁴. Este sensor é passível de ser integrado num SDA, como sistema 2D complementar às capacidades de detecção e tracking de targets com baixo RCS, e que voam a baixa altitude.

(3)I&D

Comparando com a tecnologia PET, a tecnologia PCL está num estado de maturidade bastante inferior. Enquanto que no caso da tecnologia PET ela é já amplamente utilizada em ambiente civil em aplicações ATM, a tecnologia PCL continua a ser uma promessa que tarda a concretizar-se. A parca disponibilidade comercial destes sistemas é

²³ Devido à insuficiente precisão vertical.

²⁴ Que usa um interface *standard* do tipo ASTERIX.



um bom indício desta “imaturidade”. Trata-se eventualmente de um problema do tipo galinha e ovo: “*until industry sees a market it won't seriously invest and until the market sees a product, it won't be interested...*” (Howland, 2010).

Por este motivo a I&D é muito activa nesta área. Em 2004 a NC3A desenvolveu um sistema experimental que explorava um único TX rádio FM (Howland, 2005), mas apesar dos resultados encorajadores, não foi obtido financiamento para expandir o sistema a múltiplos TXs que poderiam permitir um melhoramento da precisão do sistema (Howland, 2010). A disseminação da tecnologia *Digital Audio Broadcast* (DAB) e *Digital Video Broadcast* (DVB) pela maioria dos países ocidentais tem proporcionado novos TXs capazes de serem explorados por sistemas PCL com resultados de precisão muito mais promissores que os actuais. Actualmente o laboratório de pesquisa aeronáutica francês ONERA está a trabalhar em parceria com a Thales para desenvolver uma versão DAB/DVB do sensor HA100 (Bruyant, 2009). De igual modo o laboratório alemão FGAN desenvolveu o sistema experimental CORA que explora TX DAB e DVB tendo obtido resultados bastante satisfatórios (Berger, 2009) (Glende, 2008).

Ao nível do processamento de sinais existe também uma intensa actividade I&D. Novas aproximações de processamento de sinais estão a ser investigadas (Shaw, 2009) existindo mesmo algumas patentes bastante recentes relacionadas com esta área (Smith, 2008). De um modo geral a I&D da tecnologia PCL é bastante activa sendo comum a existência de tópicos relacionados com ela em praticamente todas as conferências de radar a nível internacional (IRS, 2009) (RADAR'09, 2009) (RadarCon09, 2009).

c. Validação da hipótese H1

Da análise anterior, verificou-se que, pela ausência de emissão de energia EM, quer os sensores PET quer os PCL contribuem para o aumento da capacidade de sobrevivência dos SDA, por serem imunes aos mísseis HARM e poderem operar de forma camuflada. Verificou-se também que ambos os tipos de sensor têm uma baixa taxa de refrescamento, e que essa característica proporciona uma série de mais-valias operacionais.

Verificou-se ainda que, para além da capacidade de detecção e *tracking*, o principal contributo dos sensores PET é a identificação não-cooperativa dos *targets*, e uma associação *plot-to-track* inequívoca. Em termos de características de precisão e *range* elas são semelhantes às proporcionadas pelos SSR. O grande problema apontado a estes sensores é a sua dependência dos sinais EM emitidos pelos *targets*. Verificou-se também que os sistemas PET disponíveis comercialmente são passíveis de ser integrados nos SDA,



pois para além de serem um complemento à capacidade de detecção, tracking e identificação, proporcionam ainda as funcionalidades de análise de sinais EM e análise de espectro EM.

Quanto aos sensores PCL, verificou-se que garantem maior diversidade de frequência, e consequentemente maior resistência ao *jamming*, melhores características RCS dos *targets* pequenos, tais como UAVs, CMs, e TBMs, redução da efectividade da tecnologia *stealth*, e ainda menor degradação de *range* na presença de chuva e *chaff*. Verificou-se também que, graças à sua geometria multi-estática, eliminam a maioria dos “zeros” do diagrama RCS dos *targets*. No entanto, a sua precisão 3D é considerada “insuficiente” e a sua cobertura é mais limitada, em *range* e azimuth²⁵. Verificou-se também que, os sistemas PCL actualmente disponíveis no mercado podem ser integrados nos SDA, como sistemas 2D que complementam as capacidades de detecção e *tracking* de *targets* com baixo RCS, e que voam a baixa altitude.

Tendo em conta esta análise, podemos considerar a hipótese **H1: Os sensores passivos disponíveis comercialmente complementam as lacunas dos radares activos, contribuem para a melhoria do volume de cobertura e para o aumento da capacidade de sobrevivência do SDA**, como parcialmente verdadeira na medida em que a melhoria do volume de cobertura é condicionada pelas actuais limitações²⁶ dos sensores PCL.

2. Integração de sensores passivos nos SDA NATO

a. Integração de sensores passivos no ACCS

No âmbito do ACCS os sensores passivos são parte da *Deployable ACCS Component* (DAC). A DAC compreende para além do DARS, o *Deployable Sensor Element* (DSE), onde os sensores passivos estão integrados. O papel do DSE é fornecer ao DAC as capacidades de Vigilância Aérea e Identificação. Em tempo de crise ou guerra, espera-se que o DSE contribua para a obtenção duma *Enhanced Volumetric Coverage* (EVC)²⁷. O MC 507 afirma mesmo que o DSE deverá ser o meio primário para aumentar

²⁵ Quando comparada com a cobertura dos radares convencionais.

²⁶ Insuficiente precisão 3D.

²⁷ De acordo com o MC-507, *Concept for Air Surveillance*, a EVC aplica-se quando existe uma ameaça específica, área de alto risco ou eixo de ameaça potencial. É uma extensão da *Basic Volumetric Coverage* (BVC) que é definida como a vigilância contínua do espaço aéreo compreendido entre 10.000 e 100.000 pés *Above Mean Sea Level* (AMSL) que se situa sobre os territórios NATO e se estende até 100 NM das suas fronteiras.



as capacidades de vigilância numa determinada área, cabendo ao *NATO's Airborne Early Warning & Control* (NAEW&C) a função de complementar as capacidades do DSE.

No Anexo D do *SHAPE Sensor Plan* é apresentada a racional para a mistura de sensores que constitui o DSE. Esta mistura inclui *Deployable Air Defense Radars* (DADR), *Deployable PCL* (DPCL) e *Deployable PET* (DPET).

Os DADRs constituem o *backbone* da capacidade de Vigilância Aérea e Identificação cooperativa do DSE. O DADR compreende um radar primário e um secundário (SSR com IFF) com capacidade de detecção de longo alcance contra todas as classes espectáveis de ABTs. As bandas de operação são as tradicionais bandas radar L e S.

Os sensores DPCL têm como finalidade complementar o volume de cobertura proporcionado pelos DADR, fornecendo simultaneamente diversidade de frequência, imunidade aos mísseis HARM e ao *chaff*, melhor capacidade de detecção de *targets* com baixo RCS e capacidade de *gap-filling*. Dado que são sistemas que não emitem qualquer sinal EM, são capazes de proporcionar uma vigilância camuflada e serem instalados em áreas onde a radiação EM não é possível²⁸.

Os sensores DPET têm como finalidade complementar as capacidades de detecção dos DADR e DPCL, proporcionar informação de identificação não cooperativa de alta qualidade²⁹, e fazer o *tracking* de *jammers* pulsados. Do mesmo modo que os sistemas DPCL, são capazes de proporcionar uma vigilância camuflada e serem instalados em áreas onde a radiação EM não é possível.

Apesar de cada um dos tipos de sensores do DSE poder operar isoladamente, o maior benefício para o SDA é alcançado quando os três tipos de sensores são utilizados em simultâneo (NACMA, 2009). Em seguida, apresentam-se os quantitativos de sensores DSE que deverão ser adquiridos no âmbito da CP 9A0202.

²⁸ Inibição de emissão radar por razões políticas ou operacionais.

²⁹ Através da comparação dos sinais EM medidos com uma base de dados de TX.



Tabela 6 - Requisitos de sensores DSE (MC, 2007)

ASSETS		Total required	AVAILABLE		Provided in CP 9A0202			
			From Nations	From CP 5A0109	Project Number	Ph. I	Ph. II	Total
SENSORS	DADR ¹⁰	6	3	0	5WI02006	3	0	3
	DPET ¹¹	6	1	0	5WI02007	3	2	5
	DPCL ¹²	9	0	0	5WI02008	6	3	9

De acordo com as estimativas iniciais de preços, o custo unitário de aquisição e instalação de cada um dos tipos de sensores é o seguinte.

Tabela 7 - Custos estimados dos sensores DSE (MC, 2007)

Tipo de sensor	Custo
DADR + DSSR	24,048 M€
DPET	6,285 M€
DPCL + 1 TX FM	4,324 M€

Dos três projectos acima identificados, apenas o Projecto 5WI02006 (3 DADR) ultrapassou o primeiro nível do processo de autorização NATO, i.e. a aprovação da *Type B Cost Estimate* (TBCE), em SET09. Estima-se que o contrato seja celebrado no terceiro trimestre de 2010, devendo a *Factory System Test* (FST) ocorrer em 2012, e a *Provisional System Acceptance* (PSA) em 2013³⁰. No que diz respeito aos Projectos 5WI02007 (5 DPET) e 5WI02008 (9 DPCL), não existem ainda especificações técnicas aprovadas, pelo que as respectivas TBCEs ainda estão em fase de execução (Howland, 2010). De acordo com estimativas avançadas pelo representante do SHAPE no WG28, estes sensores só deverão estar disponíveis entre 2014 e 2018 (Bergli, 2009).

No que diz respeito aos testes efectuados com os interfaces de sensores passivos³¹, durante a FST do ACCS, realizada em 2009, apenas foi testado o interface *ACCS Wide Common Information Exchange Standards*³² (AWCIES) com um sensor PET italiano, o ER-90 referenciado no capítulo anterior. Não foi testado nenhum sensor PCL durante a FST do ACCS (Lisby, 2009). Apesar deste facto, está prevista a realização de testes

³⁰ Após a PSA é declarada a *Initial Operation Capability* (IOC).

³¹ O ACCS prevê a implementação de interfaces com sensores passivos como requisito MMR.

³² O AWCIES é baseado no protocolo ASTERIX, *standard* da EUROCONTROL, ao qual foi acrescentado um conjunto de categorias de mensagens exclusivamente militares.



operacionais aos sistemas comerciais DPET e DPCL durante 2010, com a finalidade de avaliar a performance operacional (em termos de cobertura e precisão) desses sensores (ACT, 2009). Os resultados obtidos deverão ser posteriormente utilizados no âmbito dos Projectos 5WI02007 e 5WI02008 da CP 9A0202.

b. Integração de sensores passivos nos SDA nacionais

Como referido no Capítulo 1, existem sensores PET (VERA-E) instalados no Canadá, República Checa, Estónia, Letónia, República Eslovaca e Estados Unidos (ERA, 2009b). É também conhecida a existência de sensores PET (ER-90) em Itália, tendo estes sido usados durante os testes FST do ACCS para efectuar o teste dos interfaces de sensores passivos deste sistema (Lisby, 2009).

Quanto a sistemas PCL, conhece-se a realização de testes operacionais com o sensor PCL Silent Sentry³³ nos Estados Unidos, Noruega e Reino Unido (Howland, 2010). Foi também publicamente anunciada a aquisição de sensores Thales HA100 pela França e Noruega com a finalidade de realizarem testes operacionais (Aviationweek, 2007).

Relativamente ao questionário lançado aos membros do WG28 sobre esta temática, apenas foi possível reunir 5 respostas dos representantes nacionais, nomeadamente Portugal, Holanda, Espanha, República Checa e França. Dado o reduzido número de respostas não será possível caracterizar de uma forma rigorosa o estado de integração deste tipo de sensores nos SDA NATO.

No caso de Portugal, não existe qualquer sensor deste tipo nem se prevê que nos próximos 5 anos possa vir a ser adquirido. Esta situação é idêntica para a Holanda e Espanha. Quanto à República Checa, este país possui uma grande quantidade de sensores PET, fornecidos pela firma ERA, integrados no seu SDA, que cumprem as seguintes finalidades: (1) *backup* da rede de *Fixed Air Defense Radars* (FADR), (2) identificação em complementaridade com os SSR, e ainda a (3) capacidade *deployable*.³⁴

³³ Caracterizado no Capítulo 1.

³⁴ Respostas ao questionário em Anexo H

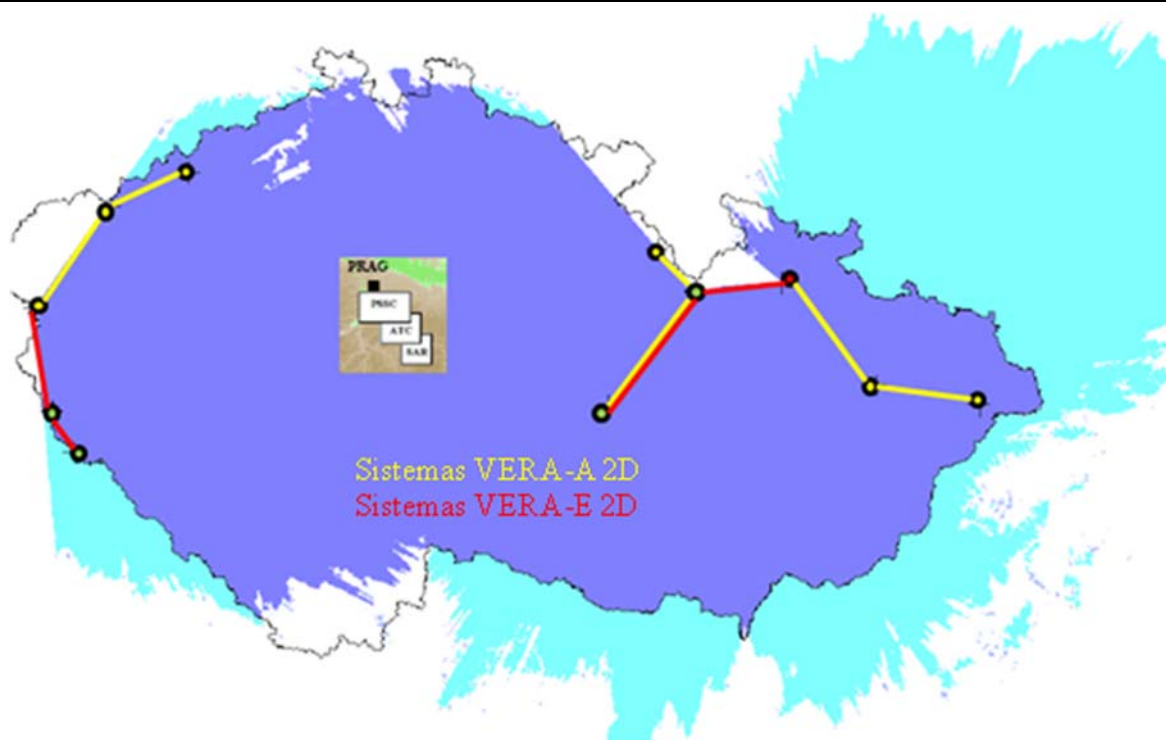


Figura 6 - Rede de sensores VERA-A e VERA-E (Chlost, 2001)

A informação proveniente dos vários sensores VERA é transferida no formato ASTERIX a um Centro de Sistemas de Vigilância Passiva localizado em Praga. Neste Centro a informação é fundida numa única *Air Picture* e difundida para os utilizadores. O *Air Command and Control* (ACC) sendo um dos utilizadores desta *Air Picture* vai correlacioná-la com a informação proveniente da rede de FADRs de modo a obter a RAP (Chlost, 2001).

A França tem actualmente a decorrer um projecto de integração de sensores passivos. A decisão de avançar para este projecto foi precedida por uma avaliação operacional ao sensor HA100, que durou 18 meses, tendo sido concluído que o sistema cumpre parcialmente os requisitos operacionais de cobertura 2D mas apresenta algumas limitações³⁵. Adicionalmente, foi celebrado com a Alemanha um acordo de cooperação, a decorrer entre 2007-2010, para a investigação de sensores passivos onde foram testados operacionalmente sistemas que exploram TX DAB e DVB e foi experimentado o uso de redes de sensores PCL. A decisão de avançar para um processo de aquisição dependerá dos resultados destes trabalhos, a serem apresentados durante o decorrer de 2010, no entanto já se antevê a celebração de um novo acordo para o período de 2010-2014. Em simultâneo foi

³⁵ Fraca resolução em altura e detecção deficiente abaixo de 500 pés.



também celebrado um acordo entre a Thales e a EADS com o objectivo de potenciar a experiência acumulada e produzir novos sistemas, capazes de cumprir os requisitos operacionais da França e da Alemanha através da estreita cooperação com os respectivos *Ministry Of Defense* (MOD)s (WG28, 2010). As finalidades previstas pela França para o uso deste tipo de sensores serão: a cobertura a baixa altitude, a utilização como *gap-fillers* e a vigilância de instalações estratégicas tais como centrais eléctricas.³⁶

c. Validação da hipótese H2

Da análise anterior, verificou-se que existem projectos a decorrer, no âmbito da CPA0202, que visam a integração de sensores passivos no ACCS, e têm a finalidade de proporcionar uma capacidade de vigilância camuflada, *deployable* e capaz de contribuir para a obtenção de uma EVC.

Quanto aos SDA nacionais, verificou-se que só um número reduzido de países possui sensores PET integrados no seu SDA (Canadá, República Checa, Estónia, Letónia, República Eslovaca e Estados Unidos). Destes, só a República Checa identificou as finalidades que estão atribuídas a estes sensores (*backup* da rede de FADRs, identificação em complementaridade com os SSR e a capacidade *deployable*). Quanto aos sensores PCL, sabe-se que foram realizados testes operacionais com o sensor PCL Silent Sentry nos Estados Unidos, Noruega e Reino Unido; e que a França e a Noruega adquiriram sensores Thales HA100. A França tem actualmente a decorrer um projecto de integração de sensores PCL destinados a garantir a cobertura a baixa altitude, a utilização como “*gap-fillers*” e a vigilância de instalações estratégicas tais como centrais eléctricas.

Tendo em conta esta análise podemos considerar a hipótese **H2: Os sensores passivos integrados nos SDA NATO são utilizados como uma capacidade *deployable* que visa essencialmente colmatar os gaps de cobertura dos radares activos**, como parcialmente verdadeira na medida em que alguns dos sensores passivos são fixos e têm missões que vão para além da complementaridade dos sensores activos.

³⁶ Resposta da França ao questionário em Anexo H



3. Integração de sensores passivos no SICCAP

Os projectos na área da Defesa Aérea inscritos em LPM decorrem do Plano de Acção da Força Aérea³⁷. Actualmente, não existe neste planeamento nenhum projecto que envolva a aquisição de sensores passivos.

A decisão de avançar com um projecto desta natureza carece portanto de uma análise prévia da sua necessidade operacional e, posteriormente, de autorização do CEMFA, revisão do Plano de Acção, e atribuição de verbas em sede de revisão de LPM. Dado que o levantamento da necessidade operacional sai fora do âmbito deste trabalho, que está restringido à forma e circunstâncias em que esta integração poderia acontecer, a análise apresentada incidirá apenas sobre viabilidade técnica e financeira do projecto.

Como tal, a fim de dar seguimento à presente análise vamos assumir que é autorizada a aquisição de uma capacidade de detecção passiva *deployable*, constituída por um sensor DPET, e que o seu custo é de 6,285 M€(valor estimado para os sensores DPET da CP 9A0202)³⁸.

a. Projectos de evolução do SICCAP

Em linha com o Plano de Acção da Força Aérea, existem incritos em sede de LPM vários projectos que visam a extensão do SICCAP aos Arquipélagos da Madeira e dos Açores e a ainda a actualização tecnológica do CRC e sensores. De seguida são apresentados de forma sucinta o âmbito e o estado de cada um dos projectos previstos:

(1)Fase III do SICCAP – extensão ao Arquipélago da Madeira

Este projecto encontra-se na sua etapa final e engloba um sensor radar, comunicações G/A/G e G/G e ainda Link 11. Faz parte deste projecto a sua integração no CRC Monsanto. Estão actualmente a decorrer as obras da Estação Radar nº4, no Pico do

³⁷ Ver Anexo F.

³⁸ As razões para esta assumpção são as seguintes: a) os sensores PET estão num estado de maturidade tecnológica superior aos PCL; b) para além de complementares às funcionalidades de detecção e *tracking*, acrescentam a capacidade de identificação não cooperativa, análise dos sinais recebidos e análise espectral; c) podem ser empregues no âmbito do DSE ACCS; d) tem uma relação custo/benefício interessante; e) é a opção economicamente mais vantajosa, considerado o risco ainda inerente à tecnologia PCL.



Areeiro, sendo previsível a realização dos *Site Acceptance Tests*³⁹ (SAT) no final do presente ano e a *Final Acceptance*⁴⁰ (FA) em 2011 (Duarte, 2010);

(2)ARS Monsanto

Este projecto visa a substituição do hardware/software do SICCAP pelo ACCS. Foi realizado em MAR10 o primeiro *site-survey* ao CRC Monsanto com a finalidade de avaliar os trabalhos necessários ao seu desmantelamento e adaptação (Duarte, 2010). Os trabalhos de adaptação deverão estar concluídos até NOV12, data em que está previsto o início dos trabalhos de instalação. A *Provisional System Acceptance*⁴¹ (PSA) do ARS Monsanto está prevista para AGO14. O financiamento previsto em LPM é de 11,242 M€distribuído entre 2009 e 2015 (EMFA/DIVCSI, 2009);

(3)Fase IV do SICCAP – extensão ao Arquipélago dos Açores

Este projecto visa instalar nos Açores três sensores radar, bem como os sistemas de comunicações associados e ainda *Links* tácticos. O financiamento previsto em LPM é de 55 M€distribuído entre 2011-2015 e deverá assegurar a primeira fase do projecto⁴²;

(4)Substituição de radares do continente

Este projecto visa a substituição dos actuais radares de defesa aérea (*Radars for Southern Region and Portugal* (RSRP)) situados no Pilar, Montejunto e Fóia por outros de tecnologia mais recente. Tendo em conta que o *RSRP Remedial Plan* em curso, prolongará o tempo de vida útil dos radares até 2020, o CEMFA aprovou o planeamento do início do projecto de substituição dos radares a partir de 2015, já com verbas inscritas em LPM nesse ano. O financiamento a inscrever em sede de revisão de LPM é de 50 M€distribuído entre 2015 e 2020;

(5)Aquisição de um Tactical Air Defense Radar (TADR)

Este projecto visa a aquisição de um TADR. Face aos contrangimentos de ordem financeira, e a necessidades prioritárias, foi proposto pelo EMFA/DIVCSI o abandono deste projecto em detrimento da aquisição de rádios G/A/G novos, para integração no futuro ARS Monsanto. No entanto, o despacho do CEMFA, exarado na Informação do

³⁹ IOC.

⁴⁰ *Full Operational Capability* (FOC).

⁴¹ IOC.

⁴² implantação de dois sensores radar de forma a garantir uma cobertura mínima adequada, comunicações G/G e G/A/G e *Link 11* – requisito mínimo essencial.



EMFA/DIVCSI N°6040 de MAR09, não é conclusivo quanto a este ponto. Ao invés do sugerido, o CEMFA deu directivas no sentido de inscrever verbas em sede de revisão de LPM para aquisição dos rádios G/A/G. O financiamento do TADR continua previsto em LPM com um montante de 5,99 M€ em 2012.

b. Integração de sensores passivos

(1) Integração no sistema actual

A **integração de um sensor DPET** no sistema actual⁴³ apresenta factores condicionantes, a nível financeiro e técnico, que põem em causa a sua exequibilidade. A nível financeiro⁴⁴, seria necessário incluir este projecto já na revisão de LPM de 2010 o que face aos projectos já em curso (**Fase III – Madeira e ARS Monsanto**) implicaria a reafectação dos recursos atribuídos ao projecto da **Fase IV – Açores**. Esta reafectação não é plausível de acontecer dado que a cobertura radar do território nacional continua a ser um objectivo prioritário que decorre do Conceito Estratégico Militar em vigor.

A nível técnico é de referir que a integração de dois novos tipos de sensores no software actual do SICCAP, levaria à necessidade de criar interfaces dedicados. Estes desenvolvimentos a efectuar em linguagem ADA representariam um desafio técnico para as parcas capacidades de pessoal do SSC do SICCAP. No caso de se vir a concretizar a migração para o MASE⁴⁵ seria necessário indagar da possibilidade técnica de integrar sensores passivos. De qualquer modo, indiferentemente do software do CRC no período 2010-2014, a integração de sensores passivos no SICCAP antes da instalação do ARS Monsanto é uma opção pouco provável e que implica custos de desenvolvimento adicionais.

(2) Integração no âmbito dos Projectos de evolução

Tendo em consideração os projectos de evolução apresentados, os projectos que reúnem as condições para incluir a integração de sensores passivos no âmbito de uma revisão de LPM são o projecto de **Substituição de radares do continente** e o projecto de **Aquisição de um TADR**. De acordo com as orientações emanadas pelo CEMFA, ambos os projectos ocorrerão cronologicamente após a instalação do ARS Monsanto e a extensão do SICCAP à Madeira e aos Açores. Deste modo, na melhor das hipóteses, a integração

⁴³ Ver Anexo E

⁴⁴ Ver Anexo F

⁴⁵ Ver Anexo E



dos sensores passivos ocorreria nunca antes de 2015 sendo necessário inscrever as verbas de financiamento em sede de revisão de LPM em 2013 ou 2016. Em seguida faz-se uma análise de viabilidade financeira e técnica para cada um dos casos.

(a) Substituição de radares do continente

Como foi referido em 3.a., foi aprovada pelo CEMFA a revisão dos valores inscritos em sede de LPM, na medida “Capacidade de Comando, Controlo e Vigilância”, para **Substituição dos radares do continente**. O despacho foi no sentido de aumentar a verba prevista (12 M€, distribuídos pelos anos de 2010 a 2015) para um montante que seja mais consentâneo com os custos inerentes à aquisição de três equipamentos radar (50 M€ distribuídos equitativamente pelo período 2015-2020) (EMFA/DIVCSI, 2009). Face a este despacho é de prever que esta alteração seja introduzida já na revisão de LPM que ocorrerá durante 2010.

A fim de suportar a **integração de um sensor DPET** seria pois necessário inscrever um montante adicional de 6,285 M€. Esta inscrição poderia ocorrer na revisão da LPM de 2013 ou 2016, considerando que o projecto de **Substituição de radares do continente** tem uma duração prevista de 5 anos a decorrer entre 2015 e 2020.

A nível técnico, a integração no ARS Monsanto não representaria qualquer dificuldade de maior uma vez que estão previstos dois interfaces AWCIES para a integração deste tipo de sensores (NACMA, 2007). Tratando-se o AWCIES de uma extensão do protocolo ASTERIX não se prevê qualquer dificuldade dado que todos os sensores DPET actualmente disponíveis comercialmente já incluem interfaces ASTERIX.

Desta análise conclui-se que é viável, financeira e tecnicamente, fazer **integração de um sensor DPET** no software do futuro ARS Monsanto no âmbito do projecto de **Substituição dos radares do continente**.

(b) Projecto de aquisição de um TADR

Como já foi referido, existe alguma incerteza quanto à continuidade deste projecto. Tal como no caso anterior seria necessário inscrever um montante adicional de 6,285 M€ neste projecto para suportar a aquisição do sensor DPET. A calendarização do projecto é neste caso uma incógnita uma vez que não existe uma directiva clara do CEMFA nesta matéria.

A nível técnico, a situação é semelhante ao caso anterior considerando que esta integração seria sempre posterior à instalação do ARS Monsanto.



Desta análise conclui-se que é viável, financeira e tecnicamente, fazer a **integração de um sensor DPET** no software do futuro ARS Monsanto no âmbito do projecto de **Aquisição de um TADR**, considerando que este projecto não foi definitivamente abandonado.

c. Validação das hipóteses H3.1 e H3.2

Da análise anterior, verificou-se que atendendo à sua calendarização e âmbito, os projectos mais adequados para incluírem a **integração de um sensor DPET**⁴⁶ são a **Substituição dos radares do continente** e a **Aquisição de um TADR**. Em ambos os projectos a viabilidade técnica está garantida por existirem já no software do futuro ARS Monsanto interfaces para sensores passivos. Quanto à viabilidade financeira, depois de analisada a forma de financiamento e os montantes disponíveis para estes projectos conclui-se que é necessário reforçar as verbas destes projectos para fazer face à **integração de um sensor DPET** cujo custo estimado é de 6,285 M€(baseado nos valores constantes da CP 9A0202).

Tendo em conta esta análise podemos considerar a hipótese **H3.1: A integração de sensores passivos no âmbito dos projectos de evolução do SICCAP é tecnicamente viável** como verdadeira para os projectos de **Substituição dos radares do continente** e **Aquisição de um TADR**.

Quanto à hipótese **H3.2: A integração de sensores passivos no âmbito dos projectos de evolução previstos do SICCAP, é financeiramente incomportável para os níveis de financiamento existentes na LPM**, verifica-se igualmente a sua veracidade, uma vez que se concluiu, não ser possível suportar a **integração de um sensor DPET**, sem reforço de verbas dos dois projectos apresentados como possíveis.

Desta forma, respondendo às questões derivadas, fecha-se o ciclo desta investigação, uma vez que estamos em condições de responder à questão central que a dirigiu: **De que forma se poderão integrar os sensores passivos no SICCAP, considerando suas perspectivas de evolução futura?**

No final desta investigação constatou-se que, é possível fazer a **integração de um sensor DPET** no SICCAP, após a implementação do ARS Monsanto, mediante um alargamento do âmbito e um reforço do financiamento do projecto de **Substituição de**

⁴⁶ Pressuposto assumido para efeitos de análise.



radares do continente ou do projecto de **Aquisição de um TADR**, previstos no Plano de Acção da Força Aérea.

Conclusões

O documento NATO MC 507, *Concept for Air Surveillance*, refere que “*there are two passive sensor technologies of relevance to SHAPE’s future air surveillance policy*” e que são os sensores PET e PCL. A possibilidade de operar de forma camuflada, as suas potencialidades operacionais e o seu baixo custo comparativo são razões suficientes para garantir um continuado interesse da NATO neste tipo de sistemas.

Perante a inexistência de um corpo de conhecimento nesta área, a nível nacional, identificou-se a necessidade de reunir um conjunto de informações capazes de caracterizar em que estado está a integração deste tipo de sensores nos SDA NATO, a fim de avaliar a possibilidade de prever a sua inclusão no SICCAP.

Neste contexto, pretendeu esta investigação responder à questão central que a dirigiu: **De que forma se poderão integrar os sensores passivos no SICCAP, considerando suas perspectivas de evolução futura?**

e da qual derivaram outras:

- **Quais são as razões que justificam a integração de sensores passivos num SDA?**
- **De que forma é que os sensores passivos foram integrados nos SDA NATO?**
- **Qual é a viabilidade de integrar sensores passivos no SICCAP no âmbito dos projectos de evolução previstos?**

Com base na problemática e nas perguntas derivadas estabelecidas, construiu-se um modelo de análise, composto por conceitos e hipóteses estreitamente articulados entre si. Para dar resposta às questões formuladas foram levantadas as seguintes hipóteses:

- **H1:** Os sensores passivos disponíveis comercialmente complementam as lacunas dos radares activos, contribuem para a melhoria do volume de cobertura e para o aumento da capacidade de sobrevivência do SDA.
- **H2:** Os sensores passivos integrados nos SDA NATO são utilizados como uma capacidade *deployable* que visa essencialmente colmatar os *gaps* de cobertura dos radares activos.
- **H3.1:** A integração de sensores passivos no âmbito dos projectos de evolução do SICCAP é tecnicamente viável.



- **H3.2:** A integração de sensores passivos no âmbito dos projectos de evolução previstos do SICCAP é financeiramente inoportuna, para os níveis de financiamento existentes na LPM.

Para validar estas hipóteses, foram recolhidos e apresentados ao longo deste trabalho, dados que resultaram essencialmente de consulta bibliográfica, complementada com inquéritos submetidos aos membros do WG28 e entrevistas dirigidas a especialistas desta área da NATO e a oficiais do MDN/DGAIED e da DEP/SICCAP, ligados pelas suas funções aos projectos de evolução do SICCAP.

Assim, no primeiro capítulo, apresentou-se uma caracterização dos sensores passivos PET e PCL, identificaram-se as mais valias operacionais, disponibilidade comercial, e actividades de investigação e desenvolvimento em curso, para cada um dos tipos de sensores. No final, atendendo aos resultados observados, fez-se a validação da hipótese H1.

No segundo capítulo, procurou-se caracterizar a integração dos sensores no âmbito do projecto ACCS e nos SDA nacionais. Para cada caso, foram identificadas as finalidades que os sensores passivos cumprem e o estado de integração. No final, face aos resultados observados, foi validada a hipótese H2.

No terceiro capítulo, procuram-se identificar os projectos de evolução do SICCAP e analisar, em termos de viabilidade financeira e técnica, a possível integração de sensores passivos no SICCAP. Em seguida, foram validadas as hipóteses H3.1 e H3.2 tendo por base os resultados observados. Por fim, validadas todas as hipóteses propostas, respondeu-se à questão central, tendo-se constatado que, é possível fazer a **integração de um sensor DPET** no SICCAP, após a implementação do ARS Monsanto, mediante um alargamento do âmbito e um reforço do financiamento do projecto de **Substituição de radares do continente** ou do projecto de **Aquisição de um TADR**, previstos no Plano de Acção da Força Aérea.

Esta constatação, assim como as informações relativas às mais valias operacionais proporcionadas pelos sensores passivos, aos sistemas comerciais disponíveis, ao seu estado de integração no ACCS e nos SDA nacionais, e às avaliações de viabilidade técnica e financeira efectuadas para cada um dos projectos de evolução do SICCAP, constituem os novos contributos para o conhecimento desta temática.

De acordo com a investigação efectuada, e na perspectiva de dar utilidade às conclusões obtidas com este estudo, apresentam-se as seguintes recomendações:



a. Representante nacional no WG28:

- (1) Acompanhar o desenvolvimento dos projectos constantes da CP9A0202, nomeadamente a elaboração dos requisitos técnicos para os sensores DPET e DPCL;
- (2) Proporcionar ao EMFA/DIVCSI e à DEP/SICCAP todas as informações relativas a sensores passivos obtidas no fórum do WG28.

b. EMFA/DIVCSI:

- (1) Avaliar, do ponto de vista operacional, a pertinência da integração de sensores passivos no SICCAP, tendo em consideração a evolução dos SDA NATO;
- (2) Considerando a avaliação operacional, propor ao CEMFA a alteração do Plano de Acção da Força Aérea.

c. EMFA/NPE:

- (1) Caso seja aprovado superiormente, em conjugação com o EMFA/DIVCSI, enquadrar o projecto de integração de sensores passivos no planeamento financeiro da LPM.

d. DEP/SICCAP:

- (1) Obter junto dos fabricantes informação técnica mais detalhada, relativa aos sensores que os comercializam;
- (2) Acompanhar a evolução tecnológica dos sensores passivos e colaborar com o EMFA/DIVCSI na avaliação operacional destes sistemas;
- (3) Caso seja aprovado superiormente, elaborar os requisitos técnicos para o projecto de integração de sensores passivos no SICCAP;
- (4) De acordo com o Plano de Acção da Força Aérea dar seguimento à execução do projecto assegurando a sua supervisão técnica.

Os sensores radar convencionais continuarão a ser, nos próximos tempos, o principal sensor dos SDA NATO. No entanto, são reconhecidas as limitações destes sensores no que diz respeito a fornecer uma cobertura adequada dos *targets* com baixo RCS, em que se incluem as aeronaves *sthealth*, os UAVs, os CMs e os TBMs e por esse motivo é necessário reconsiderar a mistura de sensores mais adequada a manter a capacidade de vigilância aérea na NATO. O MC 507 atribui ao DSE o papel principal no que diz respeito



ao aumento das capacidades de vigilância numa determinada área⁴⁷, cabendo ao NAEW&C a função de complementar as capacidades do DSE. A escolha dos sensores passivos como elementos do DSE não é alheia ao seu reduzido custo comparativo. No entanto, apesar deste interesse formalizado na documentação NATO esta capacidade tarda a ser adquirida. Este facto estará por certo relacionado com a performance ainda reduzida dos sensores PCL.

Do ponto de vista nacional, interessa acompanhar como é que este processo se vai desenvolver na NATO a fim de poder decidir, com base em informações concretas, sobre a conveniência de integrar este tipo de sensores no SICCAP. Á luz da conjuntura económica actual, e face aos projectos de evolução previstos para o SICCAP, a integração de sensores passivos no SICCAP tem um interesse reduzido. Até que o SICCAP seja estendido aos arquipélagos da Madeira e dos Açores, e o ARS Monsanto seja instalado, é prematuro pensar nesta integração. Trata-se pois de um projecto a longo prazo que não poderá iniciar-se antes de 2015. Dentro de 5 anos quem sabe se a tecnologia PCL já evoluiu e o mercado reconheceu as mais valias que este tipo de sensores pode proporcionar.

“until industry sees a market it won't seriously invest and until the market sees a product, it won't be interested...” (Howland, 2010).

⁴⁷ EVC



Bibliografia

Livros

- Quivy, Raymond, Campenhouldt, LucVan (1998). *Manual de investigação em ciências sociais*. 2ª ed., Lisboa: Gradiva.
- Skolnik, Merrill I. (2001). *Introduction to Radar systems*. 3rd Ed., Mc Graw Hill.

Artigos

- Shaw, A. P, (2009), *Target Localization by Resolving the Time Synchronization Problem in Bistatic Radar Systems Using Space Fast-Time Adaptive Processor*, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 26 January 2009.
- BEZOUŠEK et al, (2008), *Bistatic and Multistatic Radar Systems*, RADIOENGINEERING, VOL. 17, NO. 3, SEPTEMBER 2008.
- Berger, Christian et al, (2009), *Signal Processing for Passive Radar Using OFDM Waveforms*, IEEE JOURNAL ON SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING, October 2009.
- Glende et al, (2008), *Passive DAB/DVB radar for small target detection*, NATO RTO-MP-SET-125 Sensors and Technology for Defence Against Terrorism, 2008.
- Papoutsis, et al, (2004), *A radar network using FM radio broadcasters*.

Legislação

- Lei 4/2006 de 29 de Agosto. Lei de Programação Militar.

Publicações Militares

- Howland, P.E. (1999). *Detection, Tracking and Identification of Uninhabited Air Vehicles and Cruise Missiles*. NC3A-TN-766 (NATO RESTRICTED).
- Howland, P.E. (2001). *A survey of passive RF sensor technology and its applicability to the NATO Deployable ACCS Component*. NC3A-TN-840 (NATO RESTRICTED).
- Howland, P.E. (2006). *Passive covert prototype development*. NC3A-TN-1069 (NATO UNCLASSIFIED).
- WG28 (2009). *DPET & JEWCS (EW) Presentations*, Brussels.
- WG28 (2010). *Passive Radar presentation to NACMA WG28*, Brussels.
- MC (2004). *Concept for Air Surveillance*. MC 507.



- MC (2007). *Bi-SC Capability Package CP9A0202 – Deployable ground based sensors for Air C2 Surveillance and Identification*. MC 563, 4 Jun 2007.
- ACT (2009). *EPOW 10699 Proposal Detail Report – 2010 – IS/NNEC – Future Air Surveillance Sensor Mix Requirements (Not in 5YP)*. 21/10/2009.
- NACMA (2009). *NACMA Capability Package 9A0202 Type B Cost Estimate Project 5W102006*. NACMA(09)1024_enc11, Version 2.0 30/06/2009 (NATO RESTRICTED).
- NACMA (2007). *Specific Site Specification for the implementation of the First Level of Operational Capability (LOC1) of the ACCS ARS Monsanto*. CO-6568-ACCS. NACMA(09)1024_enc11, Version 2.0 30/06/2009 (NATO RESTRICTED).
- EMFA/DIVCSI (2009). *Plano de implementação do ACCS em Portugal*. INFO N°14069, 13/03/2009 (RESERVADO).
- NACMO/BOD (2003). *Implementation and Configuration Plan for the ACCS-ARS structure 2005+*. NACMO(BOD)D(2003)4, 13/02/2003 (NATO RESTRICTED).
- NACMO/BOD (2006). *ARS Analysis Task*. NACMO/BOD(AAC)D(2006)0022, 13/06/2006 (NATO RESTRICTED).
- CLAF/DE (2002). *POACCS III – Madeira, Invitation For Bid (IFB)*.

Patentes

- Smith, Alexander (2008). EUROPEAN PATENT APPLICATION: EP 1 972 962 A2 *Transmitter independent techniques to extend the performance of passive coherent location*. September 2008.

Conferências e Seminários

- Clost, O *et al* (2001). *PSS VERA and its Integration into the Czech Air C2 System*. In: “*Passive and LPI (Low Probability of Intercept) Radio Frequency Sensors*”, RTO MP-070(S)/SET-047, Varsóvia 23-25 Abril 2001.
- Moc, Jiri (2006). *Surveillance and Reconnaissance Passive Sensors in Air Defence and ATC*. Air Force and Electronics – Radars in ACC, Lisboa 4-5 Abril 2006.
- EUROCONTROL, (2007). *ARMENIAN ATS Multilateration System, Wide Area Multilateration Workshop*, Bruxelas 4-5 Junho 2007.

Internet (endereços consultados entre Dezembro de 2009 e Abril de 2010)



-
- US Navy (1997), *US Navy in Desert Shield/Desert Storm*. Disponível na Internet em: <<http://www.history.navy.mil/wars/dstorm/ds5.htm>>.
 - ERA (2003), *TDOA passive surveillance system VERA-E*. Disponível na Internet em: <www.army.cz/acr/vera/veraeeng.pdf>.
 - ERA (2009a), *Next-Generation Military Surveillance. 2009*. Disponível na Internet em: <<http://www.sra.com/air-traffic-management/solutions/military-air-traffic-control.php>>.
 - ERA (2009b), *The implications for the ATM Surveillance. System – NextGen Surveillance*. April 21, 2009. Disponível na Internet em: <<http://www.ffg.at/getdownload.php?id=3585>>.
 - IAI (2007), *3-D Multi - Mission Ground ESM/ELINT System EL/L-8388*. April 2007. Disponível na Internet em: <http://www.iai.co.il/sip_storage/FILES/2/36052.pdf>.
 - Lockheed Martin, (2007), *Silent Sentry fact sheet*. Disponível na Internet em: <<http://www.lockheedmartin.com/products/silent-sentry/index.html>>.
 - Thales, (2009), *Providing complete airspace security*. Disponível na Internet em: <<http://www.thalesgroup.com/aerospace/>>.
 - Selex, (2009), *AULOS Passive Covert Location Radar*. Disponível na Internet em: <http://prod.selex-si.com/IT/Common/files/SelexSI/brochure_datasheet/>.
 - Selex, (2010), *Air defence and battlespace management products*. Disponível na Internet em: < http://www.selex-si.com/SelexSI/EN/Business/defence_systems_/prodotti/index.sdo>.
 - Radartutorial.eu, (2010), *Concept of coherence*. Disponível na Internet em: <<http://www.radartutorial.eu/11.coherent/co05.en.html>>.
 - IRS, (2009), *International Radar Symposium 2009, 9-11 September 2009, Hamburg-Germany*. Disponível na Internet em: < <http://www.irs-2009.de/index.php?content=programme>>.
 - Radar'09, (2009), *International Radar Conference, 12-16 October 2009, Bordeaux-France*. Disponível na Internet em: < <http://www.radar2009.org/?id=48>>.
 - RadarCon09, (2009), *2009 IEEE RADAR CONFERENCE - RADAR: FROM SCIENCE TO SYSTEMS, 4-8 May 2009, Pasadena-California, USA*. Disponível na Internet em: <www.radarcon09.org>.
 - Aviationweek, (2007), *FRANCE Thales Air Systems has been gathering operational experience with its new Homeland Alerter 100 passive surveillance radar*. Disponível na Internet em: < <http://www.aviationweek.com/dti> >.
-



- NACMA, (2010), *ACCS Programme*. Disponível na Internet em: <http://www.nacma.nato.int/e_accsindex.htm>.
- NATO, (1997), *NATO Logistics Handbook*. Disponível na Internet em: <<http://www.nato.int/docu/logi-en/1997/defini.htm>>.
- ASC, (2010), *ACCS Software Committee Website*. Disponível na Internet em: <<https://www.asc.nato.int/asc/htm>>.

Entrevistas

- Lisby, Henrik (2009), Membro da equipa de testes do *Nato Programming Center* (NPC) para o ACCS, entrevista por e-mail realizada em 16 de Outubro de 2009.
- Howland, P.E. (2010),. Cientista Chefe para a área C2ISR da NC3A, entrevista por e-mail realizada em 18 de Fevereiro de 2010.
- Bruyant, Jean-Paul. (2009),. ONERA - DCV/DS – Développement Systèmes de Défense, entrevista por e-mail realizada em 21 de Outubro de 2009.
- Bergli, Torstein. (2009),. SHAPE J6, entrevista por e-mail realizada em 7 de Dezembro de 2009.
- Duarte, TCor Fernando. (2010). Coordenador da DEP/SICCAP, entrevista realizada em 26 de Março de 2010.
- Jorge, Maj Ana. (2010). Chefe da Área de Comunicações da DEP/SICCAP, entrevista realizada em 26 de Março de 2010.
- Seixas, TCor Manuel. (2010). Director do Projecto SICCAP-Fase III, entrevista realizada em 19 de Março de 2010.



Glossário

Air Breating Targets (ABT): designam os *targets* aéreos que usam motores a jacto como meio de propulsão.

Associação *plot-to-track*: processo que dá origem ao *track*. Para declarar um *track* o sistema de vigilância associa um número pré-determinado de *plots* correlacionados entre si. Num sistema radar, quando há cruzamento de *tracks* (dois ou mais *tracks* na mesma célula de detecção radar), pode ocorrer uma “perda” de *track* provocada pela não correlação dos *plots* (Ex: duas aeronaves que se cruzam com direcções distintas).

Bearing: neste contexto, significa direcção de voo.

Broadcasts: disseminação onmidireccional de sinais de rádio-frequência.

Capability Package: “*A combination of national and NATO funded infrastructure, associated costs and manpower wich, together with the military forces and other essential requirements, enable a NATO Commander to achieve a specific Military Required Capability. The Capability Package directly links military requirements with established force goals by focusing on those activities most essential to the new strategy, the resultant forces and command structure and address overall resource implications, both national and international identifying all elements necessary for the package to function. The CP is presented in a three stage, ten section document which derives and presents a Required Capability, which analyses the related resource implications, and which explains the operational justification for the proposal.*” (NATO, 1997)

Chaff: contra-medida radar em que a aeronave ou outro *target* dispersa uma nuvem de pequenos pedaços de alumínio, fibra de vidro metalizada, ou plástico, que origina *plots* radar não-desejados. As dimensões físicas do *chaff* estão directamente ligadas à frequência de operação do sensor de vigilância que pretende iludir.

Datalinks: neste contexto refere-se aos *Tactical Digital Information Links* (TADIL), que são *links* de comunicações rádio *standard*, usados no meio militar para enviar e receber informação táctica (Ex: *Link 16*, *Link 11*, *Link 1*, etc). Os TADIL são caracterizados pelos formatos de mensagens e modos de transmissão *standard*.

Deployable: quando referido a um sistema, significa a capacidade de transportar, instalar e operacionalizar esse sistema, de uma forma expedita, numa localização diferente da original.



Detecção falhada: ocorre quando por razões diversas o sensor não consegue assegurar a continuidade de detecção de um objecto. Esta situação pode provocar a perda do *track* desse objecto.

Gap-filling: processo de assegurar a vigilância aérea, nas áreas não cobertas (*gaps*) por um determinado sensor. Por exemplo, as elevações de terreno podem provocar *gaps* de cobertura por impedirem a linha de vista entre o sensor e o objecto a detectar, que só podem ser resolvidas se existir um outro sensor que consiga assegurar a vigilância dessa área.

Identificação cooperativa: processo em que identificação do *target* resulta da sua colaboração com o sistema de identificação (Ex: a identificação obtida através dos radares secundários, necessita que o *transponder* da aeronave “responda” à “interrogação”, que lhe é colocada pelo radar secundário).

Identificação não-cooperativa: processo de identificação do *target* sem que para tal seja necessária a sua colaboração com o sistema de identificação.

Jammer: equipamento electromagnético de guerra electrónica utilizado para inibir ou prejudicar o correcto funcionamento de outro equipamento electromagnético.

Jamming: emissão intencional de sinais electromagnéticos de rádio-frequência com a finalidade de interferir com outro equipamento electromagnético (radar, rádio, etc), através da saturação do seu Receptor ou Transmissor, com ruído ou informações falsas.

Links de micro-ondas: é a tecnologia que permite a transmissão de informação através de ondas electromagnéticas com comprimentos de onda da ordem dos centímetros, através do uso de equipamentos electrónicos.

Plot: sinal de “video” que representa a detecção de um objecto (aeronave, navio, veículo, montanha, nuvem, etc). Para “declarar” um *plot* o sistema de vigilância utiliza um processo denominado *plot-extraction* que elimina a informação espúria resultante de interferências. Dependendo do sensor em causa, podem existir processos que eliminam também os retornos não desejados (Ex: na vigilância aérea existem processos para eliminar os retornos causados pelo terreno).

Radar: é o acrónimo de **RADio Detection And Ranging**. Trata-se de um sistema electromagnético activo que radia energia electromagnética para o ambiente circundante, detecta a presença de objectos reflectores, tais como aeronaves, navios, veículos e ambiente natural, e determina a sua localização, através da análise dos sinais electromagnéticos reflectidos pelo objecto.



Radar Cross Section (RCS): usualmente referida como “assinatura radar”, é uma medida da quantidade de energia electromagnética reflectida por esse objecto na direcção do equipamento radar. Quanto maior o RCS de um objecto, maior a facilidade de este ser detectado pelo radar.

Radiação Electro-Magnética: Consiste na propagação de energia na forma de ondas, em matéria ou no vácuo, provocada pela oscilação dos campos Eléctrico e Magnético. Os campos Eléctrico e Magnético são perpendiculares entre si e a direcção de propagação da onda electromagnética.

Range: no caso de um sensor de vigilância mono-estático, é a medida de distância entre o sensor e o objecto detectado; no caso de um sensor de vigilância bi-estático, o *range* bi-estático é a soma das distâncias do emissor ao objecto reflector, e deste ao receptor. O *range* bi-estático é representado como uma elipse cujos focos são o emissor e o receptor do sensor de vigilância. Por este motivo, a determinação da distância entre o objecto refletor e o receptor exige uma medida adicional do ângulo de chegada do sinal reflectido

Recognized Air Picture (RAP): é uma lista completa de todas as aeronaves em voo num espaço aéreo particular, obtida a partir de um conjunto de sensores de vigilância aérea tais como radares primários, radares secundários, sensores passivos, etc. Dependendo do tipo de sensores, cada aeronave detectada, para além da sua localização, pode ser caracterizada como hostil ou amiga, nº de plano de voo, identificação da aeronave, etc.

Sistema Mono-estático: sistema em que o Transmissor e o Receptor têm a mesma localização física.

Sistema Multi-estático: sistema em que o(s) Transmissor(es) e o(s) Receptor(es) têm localizações físicas distintas.

Stealth: trata-se de um conjunto de tecnologias usadas com a finalidade de reduzir a “visibilidade” de um dado objecto (aeronave, navio, submarino, míssil, etc) ao radar, infra-vermelhos, sonar e outros meios de detecção. No caso do radar, consiste na redução do valor RCS do objecto através da utilização de materiais absorventes de radiação electromagnética e técnicas de construção que diminuem a reflexão da energia numa determinada direcção.

Track: sinal de “video” que resulta de um processo de associação de uma sequência de *plots* de um objecto, e representa uma estimativa da seu *heading* e velocidade.



Normalmente, através da representação gráfica de um *track* é possível “saber” qual é a posição do objecto na próxima actualização de informação.

Tracking: capacidade de prever a trajectória (direcção e velocidade) e localização futura de um objecto detectado, a partir da informação resultante da observação contínua, desse mesmo objecto.

Transponder: é uma abreviatura de *transmitter-responder*. Trata-se de um dispositivo electrónico que recebe, amplifica, e retransmite um sinal numa frequência diferente da original.

Update rate: taxa de refrescamento da informação do sensor. No caso dos radares convencionais, esta taxa é imposta pelo período de rotação da antena. Nos casos dos sensores que não têm antenas móveis, a taxa de refrescamento apenas é condicionada pelo tempo de processamento da informação recolhida num período de observação.



ANEXO A – Corpo de Conceitos

Sensor Passivo: sistema Electro-Magnético (EM) capaz de detectar e fazer o *tracking* de objectos reflectores sem necessitar transmitir qualquer sinal EM.

Sensores Passive Electronic Support Measures (ESM) Tracking (PET): sensores passivos que são desenhados para detectar, identificar e fazer o *tracking* de objectos aéreos e terrestres utilizando para tal as emissões EM do alvo.

Sensores Passive Choerent Locator (PCL): sensores passivos que exploram, tipicamente, TXs de oportunidade (tais como emissores de TeleVisão (TV) e Rádio Frequência Modulada (FM)) para detectar e fazer o *tracking* dos objectos aéreos e terrestres presentes no ambiente circundante.

Sistema de Defesa Aérea (SDA) NATO: sistema constituído por um *Air Operations Centre* (AOC), onde são efectuadas as tarefas de pré-planeamento e *tasking* de missões aéreas, um ou mais *Control and Reporting Centre* (CRC), onde são executadas as tarefas de controlo das missões defensivas, ofensivas e de apoio, sensores de vigilância e comunicações *Ground/Ground* (G/G) e *Ground/Air/Ground* (G/A/G).

Integração no ACCS: todas as actividades que visam a integração dos sensores passivos no ACCS.

Integração nos SDA nacionais: todas as actividades que visam a integração dos sensores passivos nos SDA nacionais.

Sistema de Comando e Controlo Aéreo de Portugal (SICCAP): SDA de Portugal, caracterizado no Anexo F.

Integração no sistema actual: integração de sensores passivos no SICCAP actual.

Integração no âmbito dos Projectos de Evolução: integração de sensores passivos no âmbito dos projectos de evolução do SICCAP, previstos no Plano de Acção da Força Aérea.



ANEXO B – Modelo Conceptual

Tabela B-1 – Modelo conceptual elaborado para esta investigação

Conceitos	Dimensões	Indicadores
Sensores Passivos	PET	Mais-Valia Operacional
		Disponibilidade comercial
		Investigação e Desenvolvimento
	PCL	Mais-Valia Operacional
		Disponibilidade comercial
		Investigação e Desenvolvimento
Sistemas de Defesa Aérea NATO	Integração no ACCS	Missão Sensores Passivos
		Estado de integração
	Integração nos Sistemas Defesa Aérea Nacionais	Missão Sensores Passivos
		Estado de integração
SICCAP	Integração no Sistema Actual	Viabilidade técnica
		Viabilidade financeira
	Integração no âmbito dos Projectos de Evolução	Viabilidade técnica
		Viabilidade financeira

Fonte: Elaborado pelo autor



ANEXO C – Sistemas MSS

Os sistemas MSS são uma adaptação dos sistemas PET ao ambiente civil. A grande diferença reside no facto de que, por norma, os sistemas MSS só exploram sinais SSR e têm interrogadores activos associados a uma ou mais antenas omnidireccionais.

Foi verificado pela EUROCONTROL que um sistema *Wide Area Multi-Lateration* (WAM) com cinco receptores apresenta uma precisão superior à de um *Monopulse SSR* (MSSR), para *ranges* até aproximadamente 225Km. A EUROCONTROL reconheceu a importância desta tecnologia ao inclui-la na sua estratégia de Vigilância Aérea *Single European Sky ATM Research* (SESAR), onde aparece como um sistema capaz de substituir gradualmente os SSR e assegurar o *backup* dos sistemas ADS-B, ainda em fase de implementação (EUROCONTROL, 2007).

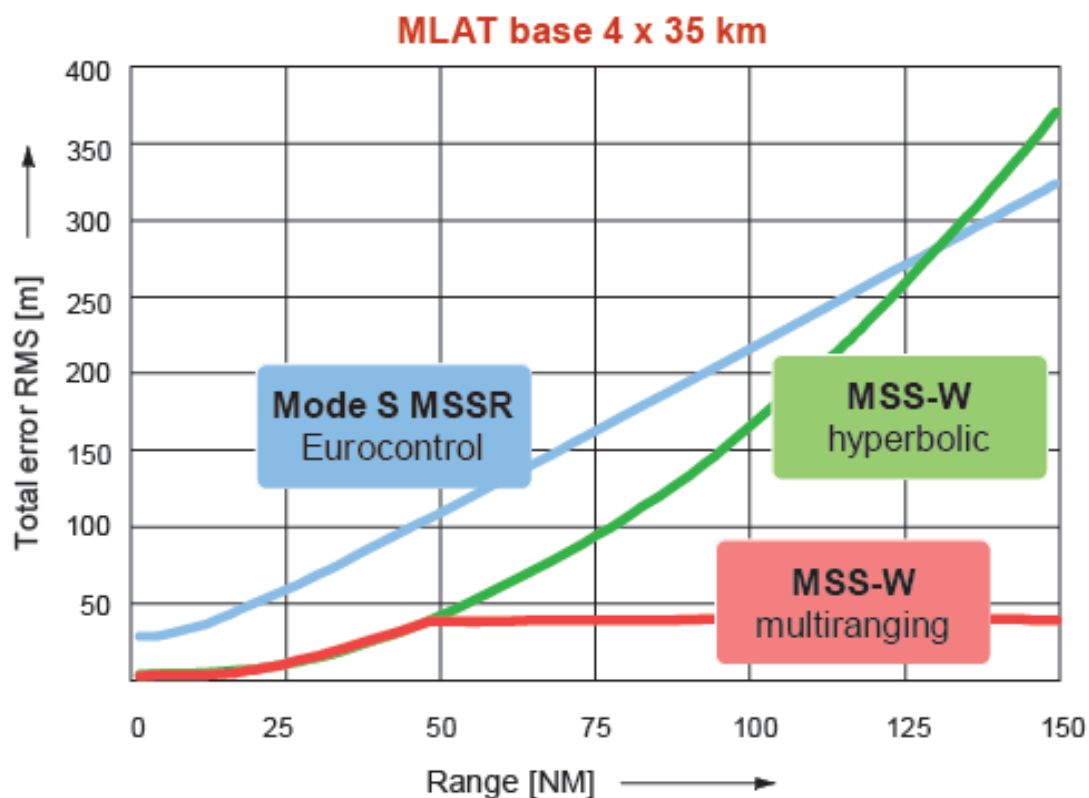
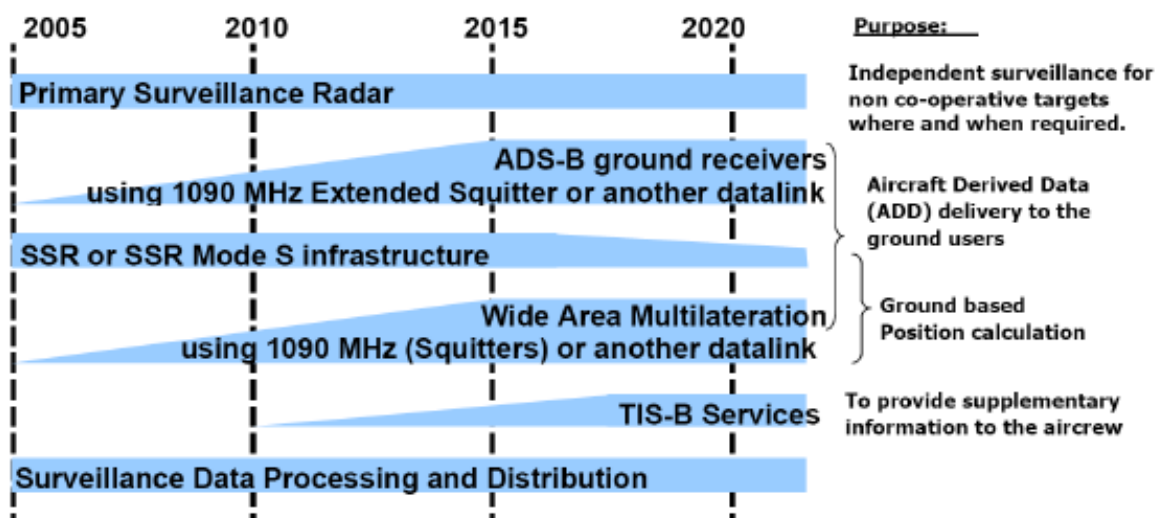


Figura 7 - Precisão MSS-WAM vs SSR Monopulso (EUROCONTROL, 2007)



Ground Based Surveillance Svstems for En-Route and TMA Surveillance Svstems

Figura 8 - Estratégia SESAR da EUROCONTROL (ERA, 2009b)



ANEXO D – Evolução para o ACCS

O ACCS irá substituir a maioria dos SDA dos membros europeus da NATO, tais como o NADGE, GEADGE, SICCAP e STRIDA. Ele foi desenhado para combinar o planeamento tático, *tasking*, e a execução de toda a tipologia de missões aéreas, ofensivas, defensivas e de apoio, num único sistema. O seu âmbito é deste modo muito mais amplo do que apenas a Defesa Aérea. O sistema será composto por um conjunto de entidades estáticas (ARS⁴⁸ e CARS⁴⁹) e *deployable* (DARS)⁵⁰ (NACMA, 2010).

A assinatura do contrato com a firma ACSI data já de 1999, no entanto só no decorrer de 2009 foi efectuada a FST, estando actualmente a decorrer a instalação das primeiras entidades ACCS (*Validation Nations* – Alemanha, França, Itália). De um modo geral cada nação terá um *Minimum Military Requirement* (MMR) ARS fixo (Bélgica, República Checa, Dinamarca, Grécia, Hungria, Itália, Holanda, Noruega, Espanha, Polónia, Portugal e Turquia), existindo um segundo ARS nas nações que tenham um volume de tráfego aéreo que o justifique (Alemanha, França e Reino Unido). Destes 18, Lyon Mt Verdum (França) e Poggio Renatico (Italia) serão CARS. Para além desta estrutura fixa estão previstos dois DARS (Holanda e Espanha) capacitados para fornecer a capacidade de Comando e Controlo Aéreo em operações fora de área ou reforçar a estrutura fixa do ACCS.

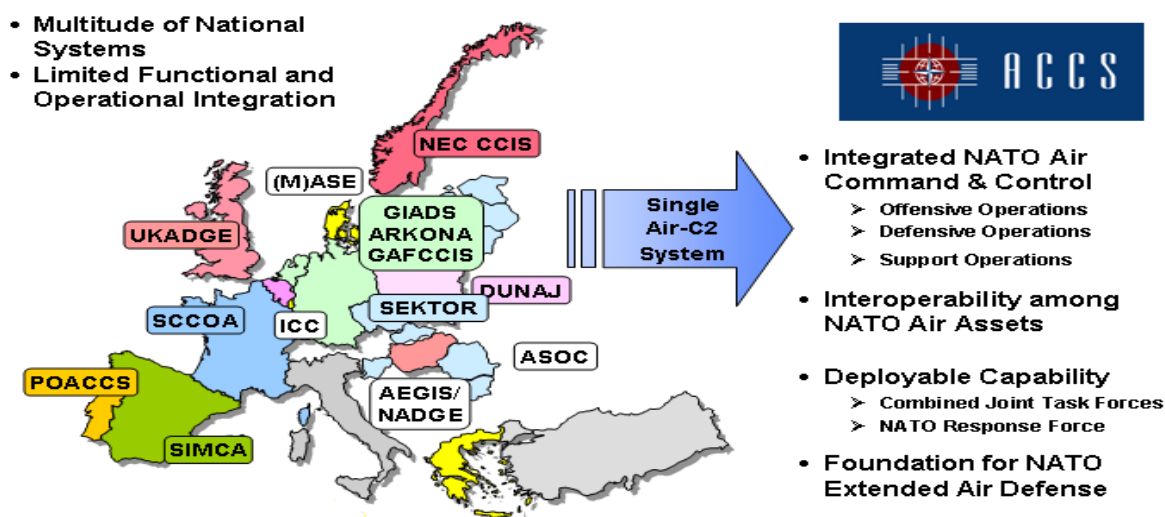


Figura.9 - Migração para o ACCS (NACMA, 2010)

⁴⁸ Entidade ACCS que implementa as funcionalidades do *Air Control Center* (ACC), *RAP Production Center* (RPC) e *Sensor Fusion Post* (SFP)

⁴⁹ Entidade ACCS que agrega a funcionalidade *Combined Air Operations Center* (CAOC) ao ARS

⁵⁰ *Deployable ARS*



Para além destas entidades consideradas MMR, algumas nações (Dinamarca, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Noruega, Polónia, Portugal, Espanha e Turquia) decidiram a expensas próprias adquirir ARS adicionais ou manter *Control and Reporting Center* (CRC)s modernos por motivos de *backup*, e para fazer face a requisitos nacionais. No caso português este *backup* será assegurado pela *Stand-by Operations Facility* (SOF) em Beja (NACMO/BOD, 2003).

A assinatura da FST do ACCS marcou também o início da fase de replicação onde Portugal está incluído (ARS Monsanto). Está ainda em estudo a inclusão da Bulgária, Estónia, Letónia, Lituânia, Roménia, Eslováquia e Eslovénia na fase de replicação do ACCS (NACMO/BOD, 2006).



ANEXO E – Sistema actual SICCAP

O SICCAP foi desenvolvido como um projecto conjunto entre a NATO e Portugal com o intuito de equipar Portugal com um SDA moderno capaz de integrar o *NATO Integrated Air Defense System* (NATINADS) e assegurar a Defesa Aérea na sua *Area Of Responsibility* (AOR). O sistema foi instalado em quatro fases (I, I-A, I-B e II) que decorreram entre 1990 e 2004. Após a finalização da Fase II, o sistema incorpora os seguintes componentes principais:

- Um *Combined Air Operations Centre* (CAOC) e um *Control and Reporting Centre* (CRC) localizados em Monsanto;
- Uma *Stand-By Operations Facility* (SOF) localizada em Beja, que implementa capacidades limitadas de CRC podendo actuar como alternante ou complemento ao CRC Monsanto;
- Comunicações *Ground/Air/Ground* (G/A/G) e *Ground/Ground* (G/G);
- Um Sub-sistema Link 11 *Portuguese Maritime Buffer and Airborne early warning Link* (POMBAL);
- Três *3 Dimensional (3D) Primary and Secondary Surveillance Radar* (PSR/SSR) localizados em Fóia, Montejunto e Pilar;
- Vários outros interfaces nomeadamente com as Bases Aéreas (BA1, BA4, BA5, BA11, AM1 e AM3), o *Lisbon Area Control Centre* (LACC), *Terminal Area Radar* (TAR) da Portela, etc...

Com excepção do software de missão *Air Offense* (AO), que é baseado no *Integrated Command and Control Software* (ICC)⁵¹, todo o restante software operacional foi desenvolvido à medida em linguagem ADA⁵², actualmente descontinuada. Com a finalidade de permitir a manutenção/desenvolvimento do software de missão *Air Defence* (AD) foi criado um *Software Support Centre* (SSC), actualmente integrado na estrutura do

⁵¹ Ver Apenso E

⁵² **Ada** é uma Linguagem de programação estruturada, de tipagem estática, é uma linguagem imperativa, orientada por objectos e é uma linguagem de alto nível, originada de Pascal e outras linguagens. Foi originalmente produzida por uma equipa liderada por Jean Ichbiah da CII Honeywell Bull, contratados pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos durante a década de 70, com o intuito de substituir as centenas de linguagem de programação usadas pelo DoD. Ada é uma aplicação com compiladores validados para uso confiável em missões críticas, tais como softwares de aviação. Normalizada internacionalmente pela ISO, sua versão mais actual é de 2005.



A6 do Comando Aéreo (CLAFA/DE, 2002). As capacidades de intervenção deste SSC são actualmente bastante limitadas, devido ao reduzido número de técnicos qualificados e às dificuldades inerentes à descontinuidade tecnológica da linguagem ADA (Seixas, 2010).

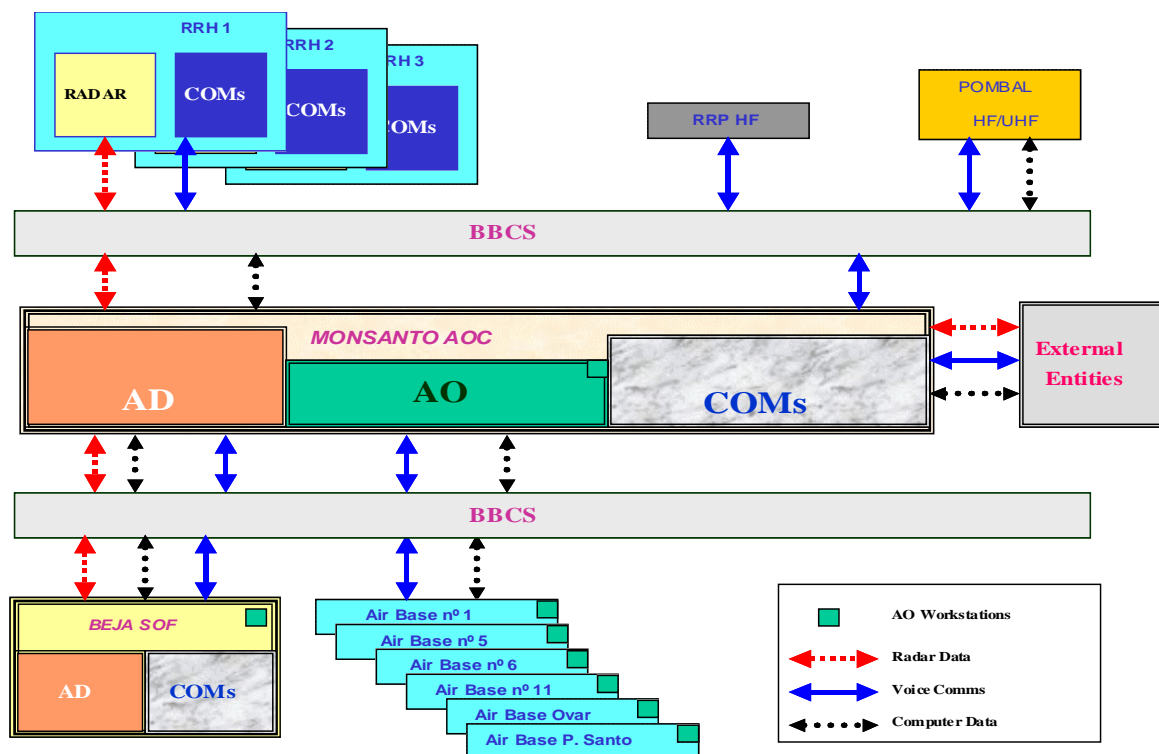


Figura 10 - Esquema funcional do SICCAP Fase II (IFB Fase III, 2002)

O facto da arquitectura de hardware do sistema ser na sua maioria baseado na tecnologia DEC-VAX⁵³, também já descontinuada, coloca problemas adicionais de sustentação logística que levaram a NATO, responsável pela sustentação do SICCAP, a propôr a Portugal a substituição do software/hardware do SICCAP pelo MASE até ao final do corrente ano (Jorge, 2010). Esta solução, se aceite, deverá funcionar até à instalação do ARS Monsanto prevista para 2014. A exequibilidade/conveniência desta solução está actualmente a ser avaliada pela DEP/SICCAP em coordenação com o EMFA/DIVCSI, não existindo para já decisão sobre esta questão (Jorge, 2010).

⁵³ VAX é uma arquitectura de computadores de 32 bits que suporta um conjunto de instruções ortogonais (código de máquina) e endereçamento virtual (ou seja exige memória virtual paginada). Foi desenvolvido em meados dos anos 70 do séc. XX pela Digital Equipment Corporation (DEC). A DEC foi posteriormente adquirida pela Compaq que, por sua vez, foi comprada pela Hewlett-Packard.



ANEXO F – Financiamento dos projectos de Defesa Aérea

Regra geral, o financiamento dos projectos de Defesa Aérea pode ser obtido de duas formas:

- Co-financiamento por fundos comuns NATO, cobrem 75% do custo do projecto. Os restantes 25% são assegurados por verbas nacionais normalmente inscritas em LPM (SICCAP Fase I a II, ARS Monsanto);
- LPM. O financiamento é totalmente assegurado por verbas nacionais. (Fase III – Madeira, Fase IV – Açores, Substituição de radares).

Para serem elegíveis para co-financiamento NATO os projectos têm que ter como objecto a concretização de requisitos MMR e serem conduzidos de acordo com a metodologia NATO. Este tipo de financiamento está cada vez mais dificultado em resultado da canalização dos fundos comuns NATO para o suporte das operações em curso, nomeadamente a ISAF (Seixas, 2010).

O financiamento através da LPM é feito com base nas medidas inscritas na lei (LPM, 2006). A medida onde normalmente são inscritos os projectos de Defesa Aérea é a medida de “Capacidade de Comando e Controlo e Vigilância”. Dentro desta medida, a distribuição de verbas pelos diversos projectos é feita de acordo com o planeamento da Força Aérea e pode ser revista em função das necessidades. Dentro de cada projecto a gestão das verbas atribuídas é da responsabilidade da Força Aérea havendo deste modo liberdade para fazer as alterações técnicas julgadas necessárias. Adicionalmente, existe a possibilidade de transferir verbas de outras medidas sendo no entanto necessário manter o tecto orçamental definido pelo conjunto de todas as medidas da responsabilidade da Força Aérea.

As revisões são feitas normalmente em ciclos de três anos e têm em conta o andamento dos projectos em execução e as verbas disponíveis em orçamento de estado (Seixas, 2010). A próxima revisão da LPM foi atrasada um ano, por coincidir com o ano de eleições, e ocorrerá durante 2010. Após esta revisão a próxima oportunidade de revisão será em 2013 se forem mantidos os critérios de revisão enunciados na presente lei.



ANEXO G – Entrevistas efectuadas

Tabela G-1 – Lista de entrevistas efectuadas

Entidade	Justificação	Assunto Abordado
Dr. Paul Howland	Cientista Chefe para a área C2ISR da NC3A	<ul style="list-style-type: none">– Protótipo PCL desenvolvido na NC3A– CP 9A0202– Testes de sensores passivos– Sensores passivos disponíveis no mercado– Nações com sensores passivos
Mr. Torstein Bergli	SHAPE J6	<ul style="list-style-type: none">– DARS– CP 9A0202
Mr. Henrik Lisby	Membro da equipa de testes do NPC para o ACCS	<ul style="list-style-type: none">– Integração de sensores passivos no ACCS– Sensores passivos testados
Dr. Jean-Paul Bruyant	ONERA - DCV/DS – Développement Systèmes de Défense	<ul style="list-style-type: none">– ONERA I&D– Thales HA-100
TCor Manuel Seixas	Director do Projecto SICCAP-Fase III; Representante nacional do WG28; Ex-membro da equipa técnica do Projecto SICCAP Fase II	<ul style="list-style-type: none">– SICCAP Fase II– SICCAP Fase III– Financiamento de projectos de Defesa Aérea
TCor Fernando Duarte	Coordenador da DEP/SICCAP;	<ul style="list-style-type: none">– SICCAP Fase III– ACCS– ARS Monsanto
Maj Ana Jorge	Chefe da Área de Comunicações da DEP/SICCAP	<ul style="list-style-type: none">– ARS Monsanto– MASE

Fonte: Elaborado pelo autor



ANEXO H – Questionário de sensores passivos ao WG28

Passive sensors integration within NATO Air Defense Systems – WG28 National Representatives e-mail interview

1. Which is the Nation that you represent at WG28?
2. The following questions are used to characterize your National Integrated Air Defense System (IADS), in order to evaluate the relation between its evolution status and passive sensors integration:
 - a. Which is the name of your National IADS?
 - b. Does your National IADS achieve full national territory coverage?
 - c. Which kind of active sensors are integrated?

Radar name	Manufacturer	Range	Fixed/Mobile	Operation Band	Plot/Track Integration	Installation decade

- d. Are there any passive sensors integrated (Passive ESM Trackers and Passive Coherent Locators)?

Radar name	Manufacturer	Range	Fixed/Mobile	Operation Band	Plot/Track Integration	Installation decade

- e. Which is the software that performs Air Mission Control and Sensor Fusion Post functionalities (ASOC, MASE, other)?
 - f. How many Command and Control entities are there (main and backup)?
 - g. Which are the existing external connections to other National IADS and CAOCs?
 - h. Which are the main projects for your National IADS in the next 5 years?
3. If there are any passive sensors integrated, which are the missions of these sensors?
 - a. Gap-fillers;
 - b. Low-altitude coverage;
 - c. Radar net backup;
 - d. Secondary ATC surveillance;
 - e. Deployable capability;
 - f. Other.
4. Are there any on-going or future projects for integration of these kinds of sensors? If yes, in what missions?
 - a. Gap-fillers;
 - b. Low-altitude coverage;
 - c. Radar net backup;
 - d. Secondary ATC surveillance;
 - e. Deployable capability;



- f. Other.
- 5. If you have answered no to the previous question, what are the reasons for not having considered passive sensors integration?
 - a. Technology immaturity;
 - b. Technical integration issues;
 - c. Expensive cost;
 - d. High priority projects;
 - e. Insufficient Cost/Benefit relation;
 - f. Other.
- 6. Do you know any national company that has commercial passive sensors available on the market?
- 7. Do you know any investigation project in the passive sensors area that is on-going on your country? If yes which is the research entity?

Apenso A – Princípios de funcionamento de um sensor PET (Clost et al, 2001)

4.1 Operating principles of a 2D-system

Signals received by side receiving stations (SRS) are transmitted in real time to the central station via microwave links. The three signal flows (in the form of normalised video signals with pulse trains) from the three receiving stations, (Left - L, Central - C, Right - R) are fed into the Central Processing Station (CPS). The CPS consists of a special hardware measuring/encoding unit and a computer system with special real-time software. In the CPS these three input signal flows are simultaneously processed (correlated), related signals are identified and their time difference of arrivals (TDOAs) are evaluated. Instantaneous location of a target is calculated as the intersection of two hyperbolae (with receiving stations at their foci) determined by the corresponding TDOAs (TDOA systems are known sometimes as "hyperbolic"). The 2D TDOA emitter location principle is displayed on Fig. 1.

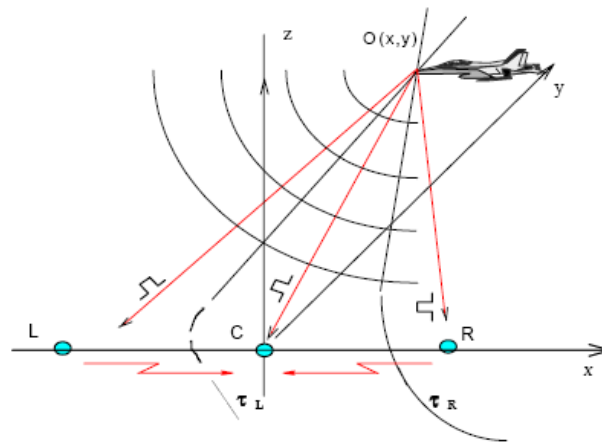


Fig. 1 2D Time Difference of Arrival (hyperbolic) location principle

The position - (x, y) co-ordinates - of the target for given values of hyperbolic delays (τ_L, τ_P) are calculated from the set of equations given in Eq. 1. Here OL is the distance from the object to the left receiver, LC is the distance from the left receiver to the central receiver and OC the distance from the object to the central receiver. OR and RC are similarly defined for the right receiver.

If the CPS is defined as the origin of a Cartesian co-ordinate scheme, the left station is located at (x_L, y_L) , the right station at (x_R, y_R) and the object at (x, y) , then the hyperbolic delays can be written as:

$$\begin{aligned}\tau_L &= \frac{1}{c} \cdot (\overline{OL} + \overline{LC} - \overline{OC}) = f(x, y, \dots) \\ \tau_R &= \frac{1}{c} \cdot (\overline{OR} + \overline{RC} - \overline{OC}) = g(x, y, \dots) \\ \tau_{L,R} &= \text{hyperbolic delays} \\ \tau_L &= \frac{1}{c} \cdot \left(\sqrt{(x-x_L)^2 + (y-y_L)^2} + \sqrt{x_L^2 + y_L^2} - \sqrt{x^2 + y^2} \right) \\ \tau_P &= \frac{1}{c} \cdot \left(\sqrt{(x-x_R)^2 + (y-y_R)^2} + \sqrt{x_R^2 + y_R^2} - \sqrt{x^2 + y^2} \right)\end{aligned}$$

Eq. 1 The 2D TDOA (hyperbolic) location equations

4.1.1 OPERATING PRINCIPLES OF A 3D- SYSTEM

The 3D-system's operating principle is based on four receiving stations: C, R, L and Q. The 3D TDOA emitter location principle is displayed in Fig. 2. The position - (x, y, z) co-ordinates - of the target for given values of hyperbolic delays (τ_L , τ_R , τ_Q) are calculated from the set of equations shown in Eq. 2. The location of the target is then calculated as an intersection of the three hyperbolic surfaces calculated from the measured TDOA and the known geometric configuration of the stations.

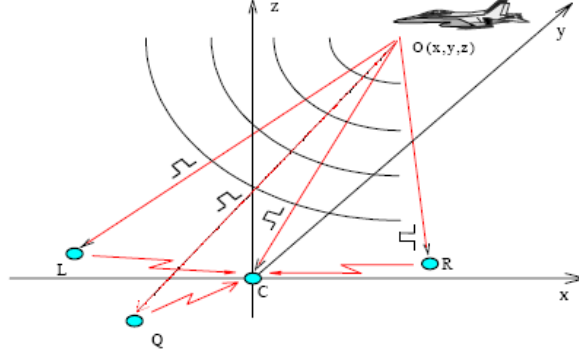


Fig. 2 3D Time Difference of Arrival (hyperbolic) location principle

$$\begin{aligned}\tau_L &= \frac{1}{c} \cdot (\overline{OL} + \overline{LC} - \overline{OC}) = f(x, y, z, \dots) \\ \tau_R &= \frac{1}{c} \cdot (\overline{OR} + \overline{RC} - \overline{OC}) = g(x, y, z, \dots) \\ \tau_Q &= \frac{1}{c} \cdot (\overline{OQ} + \overline{QC} - \overline{OC}) = h(x, y, z, \dots) \\ \tau_{L,R,Q} &= \text{hyperbolic delays} \\ \tau_L &= \frac{1}{c} \cdot \left(\sqrt{(x-x_L)^2 + (y-y_L)^2 + (z-z_L)^2} + D_L - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right) \\ \tau_R &= \frac{1}{c} \cdot \left(\sqrt{(x-x_R)^2 + (y-y_R)^2 + (z-z_R)^2} + D_R - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right) \\ \tau_Q &= \frac{1}{c} \cdot \left(\sqrt{(x-x_Q)^2 + (y-y_Q)^2 + (z-z_Q)^2} + D_Q - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \right) \\ D_L &= \overline{LC}, \quad D_R = \overline{RC}, \quad D_Q = \overline{QC}\end{aligned}$$

Eq. 2 3D TDOA (hyperbolic) location equations



Apenso B – Conceito de processamento coerente (Radartutorial.eu, 2010)

Concept of Coherence

What is Coherent Radar?

The transmitted pulse's of coherent radar have all defined phase angles to a reference. Whether a radar set is coherent or non-coherent always depend on the transmitter. As a transmitter different systems are used in radar.

Non-coherent Radar Processing

One of the transmitting systems is the **POT (Power Oscillator Transmitter)** which is self oscillating. When such a device is switched on and off as a result of modulation by the rectangular modulating pulse, the starting phase of each pulse is not the same for the different successive pulses. The starting phase is a random function related to the start up process of the oscillator.

Notice: Self oscillating transmitter gives random phase pulse to pulse and is not coherent!

Coherent Radar Processing

Another transmitter-system is the **PAT (Power-Amplifier-Transmitter)**. In this case, the high-power amplifier is driven by a highly stable continuous RF source, called the waveform generator. Modulating the output stage in response to the PRF does not affect the phase of the driver/RF source. Assuming the RF is a multiple of the PRF (as is normally the case), each pulse starts with the same phase. Systems, which inherently maintain a high level of phase coherence from pulse to pulse, are termed fully coherent. Note that phase coherence is maintained even if the PRF and RF are not locked together (provided the RF source is phase stable). As stated, it is common practice to lock the PRF to the RF phase and this assumption makes it easier to understand the concept of coherence.

Notice: Low Power oscillator and amplifier give same phase pulse to pulse and are a coherent system!

The most important benefit of this system is the ability to differentiate relatively small differences in velocity (which correspond to small differences in phase). This coherent target processing offers Doppler resolution/estimation and provides less interference and signal/noise benefits relative to non-coherent processing.

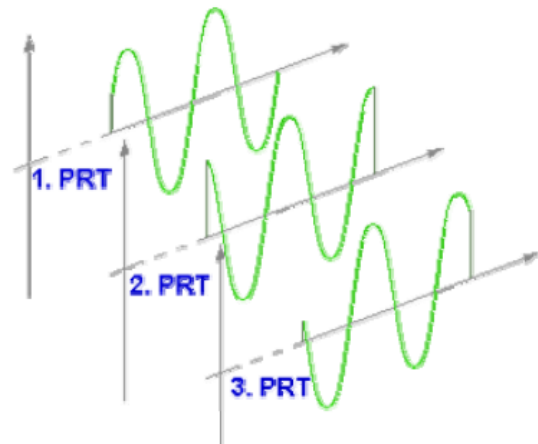


Figure 1: non-coherent pulses with random phase from pulse to pulse

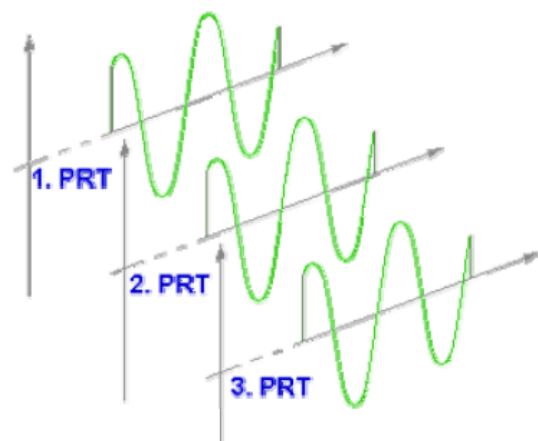


Figure 2: pulse to pulse phase coherence



Apenso C – Arquitectura radar em função da forma de onda (Skolnik, 2001)

Radar Waveforms The typical radar utilizes a pulse waveform, an example of which is shown in Fig. 1.3. The peak power in this example is $P_r = 1$ MW, pulse width $\tau = 1 \mu s$, and pulse repetition period $T_p = 1$ ms $= 1000 \mu s$. (The numbers shown were chosen for illustration and do not correspond to any particular radar, but they are similar to what might be expected for a medium-range air-surveillance radar.) The pulse repetition frequency f_p is 1000 Hz, which provides a maximum unambiguous range of 150 km, or 81 nmi. The average power (P_{av}) of a repetitive pulse-train waveform is equal to $P_r \tau / T_p = P_r \tau f_p$, so the average power in this case is $10^6 \times 10^{-6} / 10^{-3} = 1$ kW. The *duty cycle* of a radar waveform is defined as the ratio of the total time the radar is radiating to the total time it could have radiated, which is $\tau / T_p = \tau f_p$, or its equivalent P_{av} / P_r . In this case the duty cycle is 0.001. The energy of the pulse is equal to $P_r \tau$, which is 1 J (joule). If the radar could detect a signal of 10^{-12} W, the echo would be 180 dB below the level of the signal that was transmitted. A short-duration pulse waveform is attractive since the strong transmitter signal is not radiating when the weak echo signal is being received.

With a pulse width τ of $1 \mu s$, the waveform extends in space over a distance $c\tau = 300$ m. Two equal targets can be recognized as being resolved in range when they

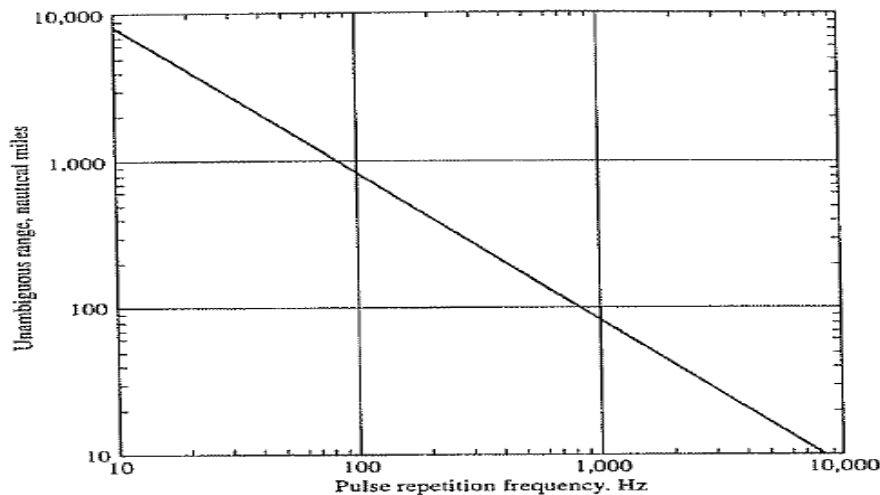


Figure 1.2 Plot of Eq. (1.2), the maximum unambiguous range R_u , as a function of the pulse repetition frequency f_p .

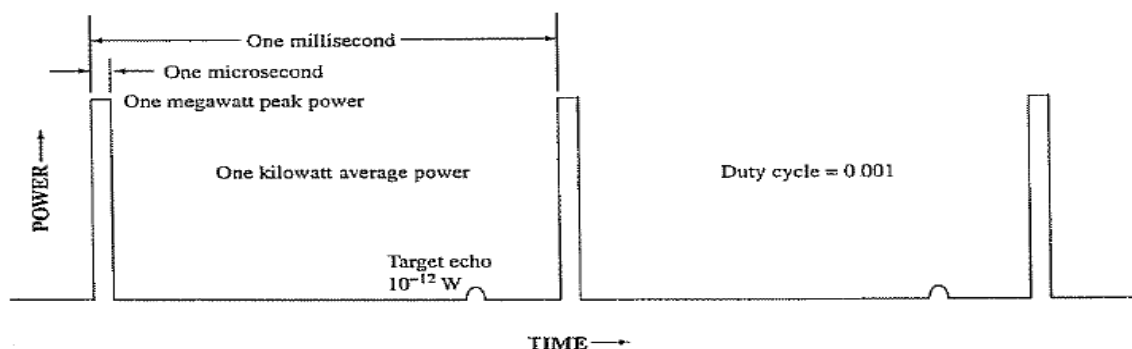


Figure 1.3 Example of a pulse waveform, with “typical” values for a medium-range air-surveillance radar. The rectangular pulses represent pulse-modulated sinewaves.

are separated a distance half this value, or $c\tau/2$. The factor of one-half results from the two-way travel of the radar wave. For example, when $\tau = 1 \mu s$, two equal size targets can be resolved if they are separated by 150 m.

Apenso D – Função de ambiguidade radar (Papoutsis, et al, 2004)

3. Ambiguity function.

The ambiguity function has been widely recognized as a very important tool for radar signal design and for quantitatively assessing the performance of a system in terms of range and Doppler ambiguities and range and Doppler resolution. It is formed from the output of a matched filter in the receiver. The input signal is a copy of the transmitted one but shifted in the frequency domain due to the Doppler Effect. Thus the output is:

$$X(\tau, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) u^*(t - \tau) e^{j2\pi\nu t} dt \quad (1)$$

where $u(t)$ is the complex envelope of the transmitted signal, τ is the expected delay of the original signal and ν is its Doppler shift. The ambiguity function is defined as $|X(\tau, \nu)|^2$.

The original formulation of the ambiguity function was calculated by Woodward [5]. Here we introduce the ambiguity function for monostatic radar to indicate the features that must be preserved in a netted formulation. Figure 1 illustrates typical properties of a monostatic ambiguity function.

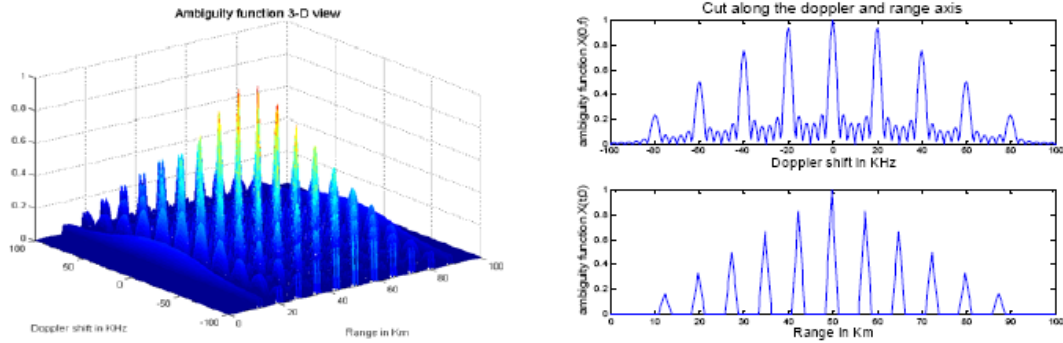


Figure 1: Stepped frequency pulse train (10μs pulse duration). 3-D plot and cut along the Doppler and Range axis. Stationary target at 50km.

The main peak of the ambiguity function corresponds to the resolution of the system in terms of range and Doppler. The additional peaks correspond to potential ambiguities, resulting in confusion at choosing the correct range of the target and its velocity.

The next step is to examine the bistatic configuration. This analysis is based on [6] and stresses the importance of target location in determining the shape of the bistatic ambiguity function. Figure 2 illustrates a typical bistatic geometry and the bistatic ambiguity function.

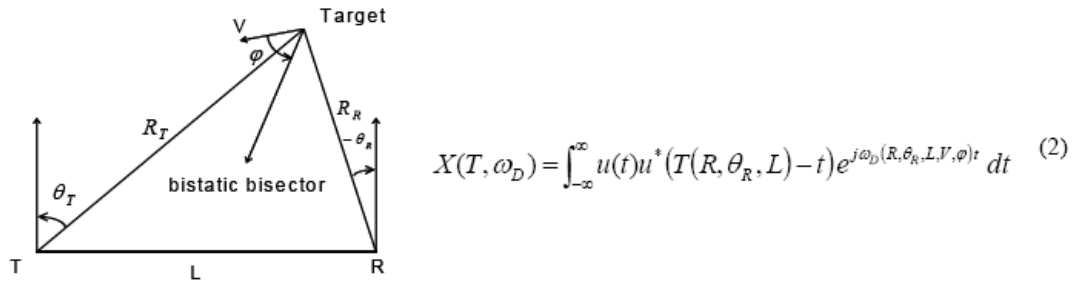


Figure 2: Bistatic topology and bistatic ambiguity function.



The results from calculating (2) for a number of possible geometries are presented in Figure 3.

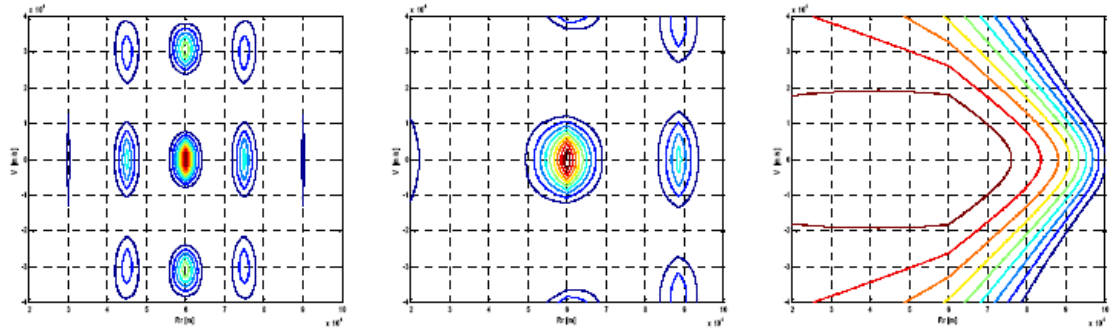


Figure 3: Coherent pulse train. $L=100\text{km}$ (a) $\theta_r=90^\circ$ (b) $\theta_r=-45^\circ$ (c) $\theta_r=-90^\circ$.

It is evident that target's location is crucial for determining the output of the matched filter. For case (a), the bistatic system is responding in the same way as a monostatic one. Decreasing θ_r (b) though results in inferior resolution in range and Doppler. Especially in the case where the target lies in the transmitter-receiver baseline (c), the information extraction is impossible. This will also be a characteristic of netted radar systems and must be catered for in any mathematical formulation and in the design of real systems.



Apenso E – Software MASE e ICC (ASC, 2010)

Multi AEGIS Site Emulator (MASE)

Description

The Multi-AEGIS Site Emulator (MASE) is a flexible, low cost, state-of-the-art solution to support the execution of air operations. To assist the MASE user in gaining and maintaining air superiority, three major functional areas are supported:

- Production of a real-time RAP based on input from active/passive sensors and civilian air traffic control
- Identification and exchange of the RAP with other military units in a NATO-wide, real-time network
- Battlespace Management and provision of weapons guidance solutions.

Both military and civilian radars can be connected using nearly all relevant protocols on dedicated lines or packet switched networks. The sensor data from these sources is processed using a multi radar tracker, which provides the real-time air picture.

Flight plan data from civilian or military Air Traffic Control (ATC) centres are received, correlated with the real-time air picture and displayed to the operational user to support identification of the RAP. The Battlespace Management function assists the operational users in threat assessment and allocation of weapon resources. Threats can be engaged with either fighters or Surface-to-Air Missile (SAM) units. When engaging with fighters, the assigned intercept controller can select between various types of guidance solutions depending on the fighters' capabilities and the prevailing tactical situation.

The NPC performs full system support for the MASE system, which is an in-house development that began in 1996. Today more than 50 installations in 14 NATO countries use MASE to execute Air C2 on national territory.

It is NPC Policy to provide support for the last two software baselines fielded. It is highly recommended that you obtain and install the current operationally approved versions of NPC Products (Father version) by making a request through the [NPC Customer Service Desk](#). The following is a list of the currently supported baseline versions:

Son Version MASE 5.2.0 (Fielded Version)



Integrated Command and Control Software (ICC)

Description

The NATO-wide Integrated Command and Control Software for Air Operations (ICC) is an integrated Command, Control, Communications and Intelligence/Information (C3I2) environment that provides information management and decision support to NATO air operation activities during peacetime, exercise and war.

The ICC provides functional support for the most critical Air C2 functions at the Air Component Commander and CAOC levels.

The supported functionalities include planning and tasking, generation of Air Operations Directives, generation of Airspace Control Orders, joint target nomination, generation of Air Tasking Orders/Air Tasking Messages and a complete current operations capability (both offensive and defensive). The ICC provides the regional recognized air picture (RAP) to NATO Headquarters and supports the dissemination and display of Shared Early Warning (SEW) information. Furthermore, the ICC is capable of displaying a Common Operational Picture (COP).

The ICC system was developed by the NC3A and is maintained in a cooperative venture by the NC3A and the NPC. The support provided includes: application software development, COTS software maintenance, hardware/software obsolescence engineering and help desk activities.

It is NPC Policy to provide support for the last two software baselines fielded. It is highly recommended that you obtain and install the current operationally approved versions of NPC Products (Father version) by making a request through the [NPC Customer Service Desk](#). The following is a list of the currently supported baseline versions:

Son Version ICC 2.7.4.1 & ICC 2.7.4.2 (Under Development)

Father Version ICC 2.7.4 (NU) (Fielded Version)